

Ultrazvuk

Nemet, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:800220>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**

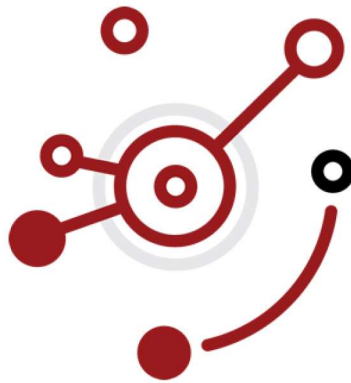


Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



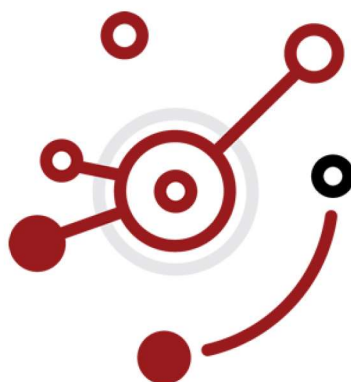
MARTINA NEMET

ULTRAZVUK

Diplomski rad

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU



MARTINA NEMET

ULTRAZVUK

Diplomski rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
radi stjecanja zvanja magistra edukacije fizike i informatike

Osijek, 2019.

„Ovaj diplomski rad izrađen je dijelom u praktikumu Odjela za fiziku, a dijelom u Feričancima pod vodstvom mentora izv. prof. dr. sc. Vanja Radolića i komentora Igora Miklavčića, pred. u sklopu Sveučilišnog diplomskog studija fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.“

Predgovor

Zahvalila bih se izv. prof. dr. sc. Vanji Radoliću i komentoru Igoru Miklavčiću, pred. za mentorstvo i pomoć pri izradi diplomskog rada, na danim materijalima i izdvojenom vremenu za pomoć kod izvođenja eksperimentalnog dijela rada. Također, zahvaljujem se ZOO vrtu Osijek na divnoj organizaciji događaja povodom noći šišmiša te gospođi Tatjani Elez, glasnogovornici ZOO, kao i studentima Odjela za biologiju s kojima sam podijelila iskustva pri izradi ultrazvučnog detektora za šišmiše. Nadalje, zahvalila bih obitelji na strpljenju i podršci te povjerenju koje su mi ukazali tijekom studiranja. Zahvaljujem i prijateljima na podršci i pomoći u nabavljanju materijala za eksperimentalni dio rada.

Sadržaj

1. UVOD	8
2. ZVUK	9
2.1. Što je zvuk?.....	9
2.2. Pojave koje prate zvučne valove.....	10
2.2.1. Refleksija zvučnih valova	10
2.2.2. Ogib zvučnih valova.....	10
2.2.3. Apsorpcija zvučnih valova	11
2.2.4. Lom zvučnih valova	11
2.2.5. Intenzitet.....	11
2.3. Povijesni razvoj ideja o zvuku.....	12
2.4. Titranje i valovi.....	19
3. EKSPERIMENTALNI DIO - Ultrazvuk	23
3.1. POKUS I. dio - Fazna i grupna brzina ultrazvuka u tekućinama	23
3.2. POKUS II. dio - Ovisnost brzine ultrazvuka o temperaturi	36
4. BAT DETEKTOR- Izrada ultrazvučnog detektora glasanja šišmiša	40
4.1. Bat detektor	41
4.1.1. Kombinacija frekvencija	41
4.1.2. Vremensko produživanje.....	42
4.1.3. Dijeljenje frekvencije	42
4.2. Prikupljanje podataka bat-detektorom.....	42
4.3. Obrada podataka prikupljenih bat-detektorom.....	42
4.4. Način izrade bat-detektora.....	43
5. ZAKLJUČAK	47
6. LITERATURA	48
7. ŽIVOTOPIS	50
8. POPIS SLIKA I TABLICA	51

ULTRAZVUK

Martina Nemet

Sažetak

U prvom dijelu diplomskog rada opisala sam povijesni razvoj ideja o zvuku, valne pojave u prirodi i pojave koje prate zvučne valove, granice čujnosti ljudskog uha te definirala ultrazvuk. U drugom dijelu opisujem rezultate eksperimenata u kojima se određuje valna duljina ultrazvuka u tekućinama i računa njegova brzina iz optički projicirane slike te kako brzina ultrazvuka ovisi o temperaturi tekućine na primjeru za destiliranu vodu. Nadalje, osim eksperimentalnog dijela koji sam odrađivala u praktikumu Odjela za fiziku, izradila sam ultrazvučni detektor šišmiša koji detektira njihovo glasanje i na taj se način može odrediti prisutnost određene vrste šišmiša na promatranoj lokaciji. U posljednjem dijelu dajem zaključak o izvedenim pokusima te povezujem dobivene rezultate s fizikalnom teorijom o ultrazvuku.

(52 stranice, 28 slika, 6 tablica, 18 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: zvuk, ultrazvuk, piezoelektrični efekt, detektor šišmiša

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vanja Radolić

Komentor: Igor Miklavčić, pred.

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

ULTRASOUND

Martina Nemet

Abstract

In the first part of this master thesis, the development of the basic concept of the sound through the history of science as well as the wave and sound phenomena in nature were described, frequency range of a human ear was determined, and ultrasound was explained. In the experimental part the several experiments were described. Firstly, the wave length of sound in some fluids was determined and speed of sound from a projected picture was calculated. Secondly, dependence of the speed of sound on the temperature of a fluid (water) was investigated. Finally, bat detector was constructed, and detailed instructions for that were presented. Bat detector is a device which detects if bats are present at a certain location and works on frequencies of ultrasound. The application of constructed bat detector was presented at 18th International Bat Night in Osijek ZOO. In conclusion, the obtained results from the experiments were discussed and some additional application of ultrasound in our lives were described.

(52 pages, 28 figures, 6 tables, 18 reference)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: sound, ultrasound, piezoelectric effect, bat detector

Mentor: Vanja Radolić, Ph.D., Associate Professor

Co-mentor: Igor Miklavčić, Lecturer

Reviewers:

Thesis accepted:

1. UVOD

Kroz ovaj diplomski rad želim vam približiti povijesni razvoj ideja o ultrazvuku te samim eksperimentalnim radom i potkrijepiti svaku od činjenica. Sve ove godine studija pridonijele su u odabiru baš eksperimentalnog diplomskog rada jer mi je uvijek bilo lakše razumjeti i upamtiti ono najbitnije za određeno područje ako iz istoga odradim nekakav eksperiment, pokus ili povežem s događajima iz svakodnevnog života. Pokusi sa zvukom, na studiju fizike u Osijeku, manje su zastupljeni pa je ovo jedan korak prema povećanju broja kvalitetnih pokusa iz tog područja.

Od svih mehaničkih valova koji se javljaju u prirodi u našim životima najvažniji su zvučni valovi. Fizikalno gledajući, zvuk je mehanički longitudinalni val frekvencija od 16 do 20000 Hz, tj. u rasponu čujnosti ljudskog uha. Zvuk se kroz medij širi u obliku prostornih longitudinalnih valova. Princip širenja zvučnog vala zasniva se na nizu poremećaja u nekom sredstvu (mediju), odnosno „zgušćivanja“ i „razrjeđivanja“ sredstva koji nastaju uslijed promjena tlaka tog sredstva. Zbog toga zvuk za svoje širenje obavezno zahtjeva neko sredstvo (voda, zrak, metal,...) te je to razlog što u vakuumu nema zvuka – ne postoji sredstvo za njegovo širenje. Zvučne valove najprikladnije je opisati fluktuacijom tlaka što sam u poglavlju Ultrazvuk i učinila. Kao što sam ranije spomenula, zvučni valovi obuhvaćaju frekvencije unutar područja čujnosti od 16 do 20 000 Hz, a ono je individualno za svaku osobu – gornja granica praga smanjuje se sa godinama starosti. Mlađe osobe, a posebno djeca, mogu čuti neke zvukove i viših frekvencija. Što je čovjek stariji, gornja mu granica čujnosti pada, što znači da sve slabije čuje zvukove visokih frekvencija. Visoke zvučne frekvencije sastavni su dio spektra frekvencija koje proizvodi neki izvor zvuka, a spektar zvučnih frekvencija čini boju zvuka. Opadanjem čujnosti visokih frekvencija starenjem, starijim se ljudima mijenjaju i boje zvuka, što znači da simfonijski orkestar ili zvuk violine drugačije čuje dijete od 6, odrastao čovjek od 30 ili starac od 80 godina.

Kako sam navela, rad je eksperimentalni, pa osim razrađenog teorijskog dijela iz područja ultrazvuka odradila sam i pokuse. Zanimalo me kako fazna i grupna brzina ovise o vrsti tekućine kroz koji šaljemo ultrazvučne signale, a osim toga i kako ovisi brzina zvuka o promjeni temperature. Spomenuti ću kako je ultrazvuk vrlo važan i na području životinjskog svijeta, te ću isto pokazati izradom detektora šišmiša (tzv. bat-detektora).

U posljednjem dijelu svog rada sažet ću sve rezultate i izvesti zaključak dobivenih mjerenja, a isto tako ćete doznati kako je protekla izrada bat-detektora i na kojoj sam manifestaciji sudjelovala i prezentirala svoj rad.

2. ZVUK

2.1. Što je zvuk?

Najjednostavnijom definicijom zvuka mogli bismo iskazati kako je zvuk ustvari uzdužni val u mediju. Fizičari bi rekli da zvuk postoji bez obzira čuje li se, a tako i započinje istraživanja prirode zvuka.

Za sve vrste valova, tako i za zvučne valove, vrijedi sljedeća relacija koja povezuje valnu duljinu i frekvenciju:

$$v = f \cdot \lambda \quad (1)$$

gdje je v – brzina širenja vala, f – frekvencija, λ – valna duljina. Pri tome je: $f = \frac{1}{T}$, pa se prethodni izraz može zapisati i kao:

$$\lambda = v \cdot T \quad (2)$$

Poput svih valova, zvuk putuje različitim brzinama, ovisno o sredstvu kojim se širi. Brzina širenja zvuka u nekom sredstvu ovisi o elastičnosti i gustoći sredstva (medija). Objasnimo to tako da brzina ovisi o tome koliko se daleko molekule medija mogu odmaknuti od ravnotežnog položaja (elastičnost sredstva) te koliko su te molekule međusobno udaljene (gustoća sredstva). Što je veća elastičnost sredstva, a manja njegova gustoća, to će se zvuk brže širiti kroz to sredstvo. Na brzinu širenja utjecat će i promjena temperature, a razlog je taj što se povećanjem temperature smanjuje gustoća sredstva (npr. zraka), bez utjecaja na elastičnost.

Dok temperatura ima utjecaj na brzinu širenja zvuka, tlak nema utjecaj jer promjena tlaka uzrokuje jednake promjene u elastičnosti i gustoći pa brzina ostaje nepromijenjena. Brzina zvuka u zraku može se, ovisno o temperaturi, prikazati sljedećim izrazom:

$$v_{\text{zvuka}} \approx 331,4 + 0,6 \cdot t \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

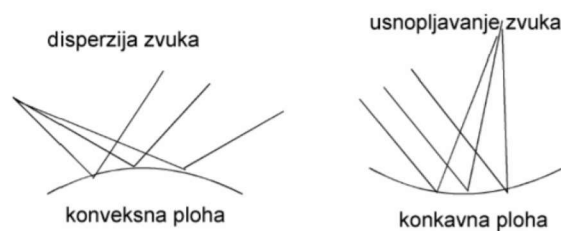
gdje je t – temperatura u Celzijevim stupnjevima. Iz izraza slijedi da je brzina zvuka u zraku pri 20 °C približno 343,6 m/s, što je gotovo 1200 km/h.

Zvučni valovi dijele interakcijske karakteristike s ostalim vrstama valova, stoga i kod njih uočavamo pojavu interferencije, difrakcije (ogiba), rezonancije, refleksije te refrakcije (loma) na prijelazu između dva sredstva, raspršenje, apsorpcije i atenuacije.

2.2. Pojave koje prate zvučne valove

2.2.1. Refleksija zvučnih valova

Refleksija je, kod svih vrsta valova, pojava odbijanja valova na granici dvaju sredstava. U slučaju da je granična ploha glatka ili ima zanemarive neravnine, refleksija se naziva regularna refleksija. Stoga kažemo da je refleksija bolja što je hrapavost površine manja, a veća gustoća materijala od kojeg je ona izrađena. Kod refleksije upadni kut dolazne valne zrake jednak je kutu odbijanja (refleksije) valne zrake. Površina može biti i neravna te se zrake raspršuju u različitim smjerovima ili usnopljavaju kako je prikazano na Slici 1. Neravne površine najčešće dijelimo lokalno, na konkavne (udubljene) ili konveksne (ispupčene). Kod konveksne površine zvuk se najčešće disperzira dok se kod konkavne površine zrake skupljaju u snopove, paralelne su ili se raspršuju, što ovisi o odnosu radijusa zakrivljenosti površine r i udaljenosti izvora od površine d .

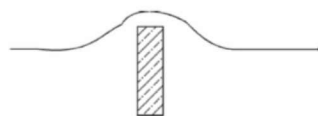


Slika 1. Refleksija zvučnih valova od zakrivljenih površina [1].

Refleksija kod zvuka može prouzročiti jeku, tj. odjek [2].

2.2.2. Ogib zvučnih valova

Opažamo kako u svakodnevnicu možemo čuti i ono što se događa iza neke prepreke. To je pojava ogiba zvuka, što bi značilo da zvuk osim refleksije od neke prepreke, istu može i zaobići. Izgled ogiba ovisi o odnosu valne duljine zvučnoga vala i dimenzije prepreke. Sam ogib bolje se uočava pri većim valnim duljinama, što znači da se zvuk niže frekvencije jače ogiba na preprekama. Zvučni val ogiba se oko prepreke na putu širenja ako je prepreka bitno manja od valne duljine, no ukoliko je znatno veća to nije tako. Sljedeća slika prikazuje nam načine ogiba zvuka.



Slika 2. Difrakcija ili ogib zvuka [1].

2.2.3. Apsorpcija zvučnih valova

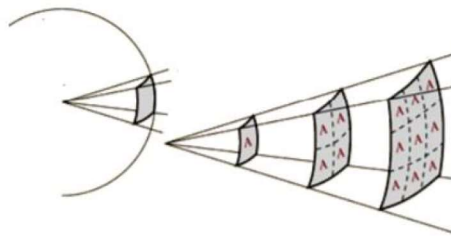
Apsorpcija valova zvuka pojava je "upijanja" zvuka koja se javlja prilikom refleksije ili transmisije. Val zvuka, putujući kroz sredstvo, udara o graničnu površinu te se dio te energije reflektira, a dio apsorbira. Pri apsorpciji velik se dio apsorbirane energije pretvara u toplinu. Za apsorpciju zvuka još možemo reći da je to proces prigušivanja zvuka njegovim prolaskom kroz sredstvo. Za različite materijale određuje se koeficijent apsorpcije.

2.2.4. Lom zvučnih valova

Kao što se svjetlosni valovi lome pri prijelazu iz jednog sredstva u drugo, tako se slično lome i zvučni valovi. Kod pojave loma dolazi do promjene smjera zvuka. Što je razlika u gustoći sredstva veća, veća je i promjena smjera širenja vala. Gušći materijal brže provodi zvuk, kao što i viša temperatura sredstva omogućava brže provođenje zvuka kroz njega. Ovo nas dovodi do zaključka da ukoliko su gornji slojevi zraka od tla topliji, smjer u kojem se zvuk širi savija se prema tlu (noć), a ukoliko je niži sloj zraka pri tlu topliji zrak, zvuk će skretati prema gore (dan).

2.2.5. Intenzitet

Zamislimo točkasti izvor koji emitira zvuk u obliku kuglastog vala koji se od izvora širi u prostor.



Slika 3. Točkasti izvor i sferno širenje zvuka u prostor [3].

Kako se sfera povećava, njezina se površina udaljuje od točkastog izvora zvuka. Kako se ista količina energije distribuira na veće područje, intenzitet zvuka se smanjuje. To je razlog zašto zvuk čujemo tiše ako je izvor udaljeniji od nas.

Kvadrat amplitude vala proporcionalan je intenzitetu zvučnog vala. Promotrimo, npr., žicu gitare. Ako se žica jače trzne, više se otkloni od položaja ravnoteže i time je veća amplituda zvučnog vala, tj. nastali je zvuk glasniji. Za razliku od amplitude, intenzitet zvuka nije teško izmjeriti. Zvuk se obično „mjeri“ kao razina intenziteta ili kažemo jakost zvuka te ga definiramo kao fizikalnu veličinu koja opisuje energiju zvučnoga vala u vremenskom intervalu kroz površinu okomitu na smjer širenja vala. Mjerna jedinica je vat po metru kvadratnom (W/m^2). Razlika

između stvarnog intenziteta i razine intenziteta u tome je što je skala razine intenziteta zvuka prilagođena ljudskoj percepciji glasnoće. Kako bismo pronašli razinu intenziteta izraženu u decibelima, počinjemo razmatranje od razine čujnosti, najmanjeg intenziteta $I_0=1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$ što iznosi 0 dB, i najmanji je intenzitet zvuka kojeg ljudsko uho može registrirati. Kako se odnosi prikazuju na logaritamskoj skali, 10 puta glasniji zvuk od početnog ima razinu intenziteta od 10 dB, dok 100 puta glasniji zvuk ima intenzitet od 20 dB. Razina intenziteta zvuka koja izaziva bol u ušima je 120 dB, što znači da je stvarni intenzitet zvuka jednak 1 W/m^2 . Matematička relacija koja povezuje intenzitet u W/m^2 i razinu intenziteta u dB glasi:

$$I [\text{dB}] = 10 \log_{10} \left[\frac{I}{I_0} \right] \quad (4)$$

U Tablici 1. navedeni su neki zvukovi koji se svakodnevno susreću, zajedno s pripadajućim intenzitetima [3].

Tablica 1. Neki zvukovi i njihovi intenziteti [3].

Zvuk	Razina intenziteta (dB)	Intenzitet (W/m^2)
Prag čujnosti	0	1×10^{-12}
Šapat	10	1×10^{-11}
Razgovor	60	1×10^{-6}
Rock koncert	115	30×10^{-2}
Prag bola	120	1
Puknuće bubnjića	160	1×10^4

2.3. Povijesni razvoj ideja o zvuku

Razmatranja o pojavi i osjetu zvuka stara su gotovo kao i čovječanstvo jer su ljudi od samog početka bili okruženi nekakvim zvukom: pjev ptica, grmljavina, šum mora, itd. Prva zabilježena pitanja o nastanku zvuka postavljaju grčki filozofi te njima pridajemo veliku važnost, budući da su potaknuli ostale na razmišljanje i istraživanje ovoga područja. Poznavali su žičana glazbala, što znači da su poznavali i zakonitosti oblikovanja tonova na žičanom instrumentu.

Pitagorejci su obavljali i prve pokuse sa žicama različitih duljina. Tako su spoznali da žice koje titraju proizvode ljudima ugodne zvukove samo ako su im duljine u određenim omjerima cijelih brojeva, čime je utvrđena ovisnost duljine žice i visine tona. Što je žica kraća, ton je viši [4]. Danas možemo reći da napeta, i na krajevima učvršćena, žica može izvoditi transverzalne mehaničke titraje, okomito na smjer žice. Žica je na krajevima učvršćena i time je već unaprijed određeno da se na njezinim krajevima stvaraju čvorovi stojnoga vala. Povučemo li gudalom ili trznemo prstom po sredini žice, ona će izvoditi harmonijsko titranje i pri tome ćemo čuti ton. Onaj

ton koji nastaje kod titranja žice gdje je samo jedan trbuh po sredini zove se osnovni ton. Tom osnovnom tonu pripada osnovna frekvencija f_0 i valna duljina λ_0 . Kako je razmak od čvora do čvora, to jest duljina l žice jednaka polovini valne duljine, vrijedi:

$$l = \frac{\lambda_0}{2}, \quad (5)$$

Budući da je $\lambda_0 = \frac{v}{f_0}$ pišemo:

$$l = \frac{v}{2f_0}, \quad (6)$$

te slijedi:

$$f_0 = \frac{v}{2l}. \quad (7)$$

Znači da je broj titraja obrnuto razmjernan s duljinom žice, to jest, duža žica imat će manji broj titraja nego kraća. Valja napomenuti kako frekvencija (broj titraja u sekundi) također ovisi o napetosti i gustoći, tj. debljini žice koja titra.

Povijesni zapisi datiraju iz vremena oko 400. godine prije Krista kada Arhit, jedan od pripadnika Pitagorejaca, donosi „postulat“ o nastanku zvuka u kojem tvrdi kako zvuk nastaje sudaranjem objekata. Iz toga dalje zaključuje kako brže gibanje tijela pri sudaru stvara „viši“ zvuk, dok sporije gibanje daje „niži“ ili „dublji“ ton. Danas možemo reći da zvuk nastaje titranjem tijela u nekom sredstvu.

U antici je bila poznata i činjenica da se zvuk širi zrakom pa su tako Platon (427. – 347. pr.Kr.) i Heron (2. st. pr.Kr.) smatrali da se zvuk proizvodi i prenosi do uha tako što se sudaraju čestice zraka.

Spoznajom da vibrirajuća žica udara zrak puno puta, a ne samo jednom, rimski inženjer Marco Pollio u 1. st. poslije Krista zaključuje da zvuk ne samo da se širi, nego i prenosi vibracije. Smatra da je vibracija zapravo zvuk koji mi čujemo.

Sljedeći vrlo važan korak u razvoju proučavanja akustičnih fenomena bio je uspostavljanje povezanosti između gibanja zvuka i gibanja vala. Rimski filozof Anicius Boethi (Boetije) oko 500. godine uspoređuje širenje zvuka kroz zrak sa širenjem valova na vodi. Danas znamo da su zvučni valovi i valovi na vodi dvije različite vrste valova, ali tada je samo povezivanje fenomena zvuka s valnim gibanjem predstavljalo veliki napredak.

Od vremena grčkih filozofa, kroz cijelo mračno doba srednjeg vijeka, nije bilo značajnijeg napretka u istraživanju zvuka i akustičnih pojava.

Godine 1711. John Shore izrađuje prvu glazbenu viljušku čime se uvelike unapređuje proučavanje zvučnih pojava jer je stvorena mogućnost dobivanja zvuka točno određene frekvencije [3].

Početak matematičke teorije gibanja zvuka u svojem djelu Principia (1686.) dao je Isaac Newton (1642.-1727.). Zvuk opisuje kao pulseve tlaka koje stvara vibrirajuće tijelo, a koji se dalje prenose preko okolnih čestica fluida.

Daljnji napredak akustika doživljava u radovima Christianna Dopplera (1803.-1853.) koji je dao objašnjenje fenomena pri kojem dolazi do promjene frekvencije i valne duljine vala koju uočava promatrač koji se giba u odnosu na izvor zvuka. Taj efekt danas nosi njegovo ime, Dopplerov efekt. Ova pojava nije uočena samo u akustici, već i u optici odnosno astronomiji, a ima i svoju praktičnu primjenu u medicini i tehnici. Istraživanja na području zvuka i dalje se nastavljaju [2].

Prvi zapisi zvuka javljaju se tek sredinom 19. stoljeća kada su napravljene različite mehaničke sprave za njegovo snimanje, a danas se zvuk najčešće snima u digitalnom obliku.

Ako promotrimo povijesni razvoj akustike, uviđamo kako ljudi nisu bili svjesni postojanja zvučnih valova svih frekvencija, tj. zvuka koji nisu direktno opažali svojim ograničenim osjetilom – uhom. Nisu poznavali ultrazvuk, frekvencije više od 20 kHz ili infrazvuk, frekvencije niže od 20 Hz. Povijest o pronalaženju ultrazvuka započinje otprilike 1790. godine, kada se Lazzaro Spallanzani zapitao kako šišmiši lete po noći kada vidljivost nije dobra. U svojim brojnim pokusima zaključio je kako se šišmiši moraju koristiti sluhom prilikom kretanja, tj. zvukom koji ljudi ne zapažaju. Kroz pokuse u kojima šišmišima začepi usta ili uši dolazi do iznenađujućih rezultata: šišmiši se tada sudaraju s preprekama, ne snalaze se u prostoru ili jednostavno ne žele letjeti.

Nešto kasnije, 1826. godine, fizičar Daniel Colladon na Ženevskom jezeru provodi prvi ozbiljan pokušaj mjerenja brzine zvuka u tekućini koristeći podvodno zvono. Potvrdio je da kompresibilnost vode izračunata iz brzina zvuka pokazuje rezultate vrlo blizu statičkim izmjerenim vrijednostima te osvojio nagradu baš za to istraživanje. Takva su otkrića dovela do novih velikih mogućnosti u razvoju sonografije i ultrazvuka.

Pravo otkriće dogodilo se 1881. godine kada su braća Pierre i Jacques Curie pronašli vezu između električnog napona i deformacija kristala kvarca, tj. došli do spoznaje da piezoelektrične ploče kristala pri sabijanju odnosno razvlačenju daju napon, a što je otvorilo put prema razvoju ultrazvučnih sondi kakve danas koristimo.

Korištenje ultrazvuka u medicinske svrhe započinje austrijski neurolog dr. Karl Dussik za dijagnozu tumora na mozgu početkom 1940-ih. Proceduru je nazvao „hiperfonografija“, a za dijagnostiku je koristio papir osjetljiv na toplinu. Škotski znanstvenik Ian Donald izumio je i unaprijedio mnoštvo uređaja koji su se koristili za dijagnostiku i patologiju trudnoće. Tijekom

Drugog svjetskog rata, razvijao je tehnologiju radara i sonara, a postao je poznat oko 1950. godine kada je sreo pacijenticu s neoperabilnim tumorom u trbušnoj šupljini za koji se, prilikom ultrazvučnog pregleda, ispostavilo da je cista jajnika [4]. U 50-im i 60-im godinama prošlog stoljeća, Douglas Howry i Joseph Holmes poboljšali su tehnologiju ultrazvuka u medicini. Do tada, pacijent je morao biti potopljen u vodu kako bi se uspješno izveo ultrazvučni pregled; izumom ultrazvučne sonde koja je bila u potpunosti u kontaktu s pacijentom otvoren je put razvoju ultrazvučnih sustava koji se i danas koriste. John Wild i John Reid modificirali su standardne ultrazvučne sustave te stvorili B-mode ultrazvučni uređaj sa sondom koja se može „ljuljati“ u različitim smjerovima kako bi se dobili različiti kutovi, što je bilo posebno važno tijekom pregleda dojke [5]. Inače, u medicini se razlikuju A, B i M mod ultrazvučnog pregleda gdje je A-mod dobio naziv od engleske riječi *amplitude*, B-mod od *brightness* te M-mod od *motion*.

U slučaju kada želimo vidjeti što se nalazi ispod tkiva, koristimo se pojavom ultrazvučne jeke koja nastaje na granici dva sredstva, primjerice vode i zraka, kože i mišića, npr., ultrazvukom se mjeri veličina fetusa. Ultrazvučna sonda odašilje i prima ultrazvučne valove, postavi se na kožu majčina trbuha premazanog gelom koji pomaže valovima da iz sonde prodru u kožu bez doticaja sa zrakom koji bi ih skrenuli. Elektronički uređaj mjeri vrijeme za koje se odaslani val vrati nakon što se odbije sa svake strane glave ploda te uz poznatu brzinu zvuka računa put. Ultrazvukom se mogu dobiti različite vrste slika. Najpoznatiji način prikaza je već spomenuti B-prikaz, odnosno dvodimenzionalna slika. Druge vrste slika mogu prikazivati protok krvi, pokretanje tkiva u vremenu, lokaciju krvi, prisutnost specifičnih molekula, krutost (rigidnost) tkiva ili trodimenzionalni prikaz neke anatomske regije.

Najveća je prednost ultrazvučne dijagnostike u medicini u tome što je pretraga bezbolna, neinvazivna i neionizirajuća, odnosno za stvaranje slike ne koristi se štetno ionizirajuće zračenje. Nedostaci su razna ograničenja i poteškoće u oslikavanju tkiva koja se nalaze iza kosti te ovisnost o vještini operatera.

Upotreba ultrazvuka u raznim područjima tehnike razvijala se prije upotrebe u medicinske svrhe. Najprije se koristio tijekom svjetskih ratova te je usavršen SONAR. Danas se u tehnologiji ultrazvučni valovi koriste za otkrivanje napuklina u materijalima, za obradu hrane, a u kemiji se ultrazvukom dobiju fine emulzije i usitnjena zrnca (fotografske ploče i filmovi).

U ribarstvu se ultrazvukom traga za jatima riba i određuje njihov položaj, npr., ehosonder pomoću odbijanja ultrazvučnih valova mjeri dubinu.

Mjerenje udaljenosti uz pomoć ultrazvučnih naprava - daljinomjera, određivanje morskih dubina i ispitivanje reljefaorskog dna temelje se na načelu mjerenja vremena odjeka. Na tom

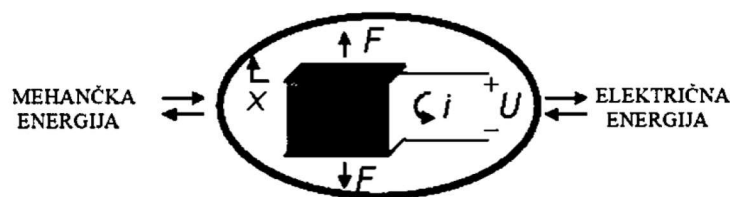
načelu brojne vrste živih bića komuniciraju i usmjeravaju svoje gibanje u potrazi za hranom, kao primjer naveli smo već šišmiša, a tu su i neki morski sisavci i ribe.

Razvojem elektronike i računala današnji ultrazvučni sustavi mnogo su napredniji od prethodnih gdje dobivamo bolju vizualizaciju traženog objekta (bilo u medicini, tehnici, ribarstvu, itd.).

Princip rada svih navedenih izvora ultrazvuka pretvaranje je električnih oscilacija u mehaničke - piezoelektričnosti (elektrostrikcija) i magnetostrikcija.

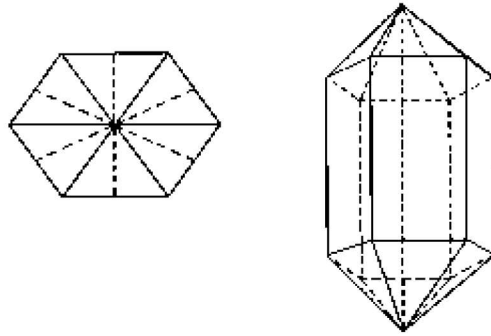
Piezoelektrični učinak (efekt) pojava je kada se na nekim kristalima (npr. kvarc, turmalin i monokalij-fosfat) javlja električna polarizacija kada mehaničkom silom djelujemo na te kristale. Najvažniji piezoelektrični kristali koji se danas koriste su: kremen (SiO_2), Seignetova sol, amonij dihidrogen-fosfat, kalij dihidrogen-fosfat i etilendiamin-tartarat. Zajednička značajka svih tih kristala je da nemaju centar simetrije. Inače, danas je najveći dio ultrazvučnih sondi napravljen od olovo cirkonat titanata (PZT) – keramičkog feroelektričnog kristala kojeg je moguće izraditi u različitim oblicima.

Piezoelektričnost mogu povezati i s primjenom u mikrofonima i raznim drugim uređajima u kojima je potrebno izazvati i detektirati vrlo male pomake. Umjesto da se djeluje silom, može se postići obrnut efekt - elektrostrikcija - stavljanjem pločica u izmjenično električno polje vrlo visoke frekvencije. Kada se frekvencija izmjeničnog napona poklopi sa svojstvenom (vlastitom) frekvencijom kvarcne pločice, nastupa rezonancija. Uslijed rezonancije, pločica jako brzo titra i proizvodi ultrazvučne valove znatne amplitude. Prva praktična primjena piezoelektričnog efekta bila je u Prvom svjetskom ratu kad je francuski fizičar Paul Langevin konstruirao sonar za detekciju podmornica [3].



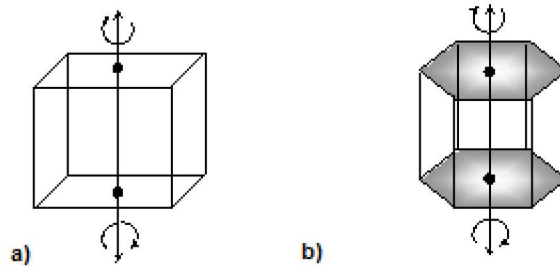
Slika 4. Piezoelektrični efekt [6].

Najjednostavnije ćemo piezoelektričnost opisati primjerom kristala kvarca (kremena). Kristali su pravilna geometrijska tijela, omeđeni plohoma i bridovima. Zamišljena ravnina koja dijeli kristal na dva zrcalno jednaka dijela naziva se ravninom simetrije. (slika 10.)



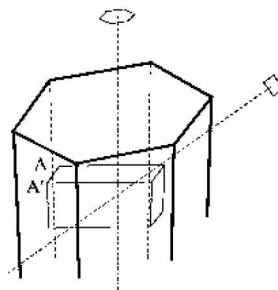
Slika 5. Kristal kvarca [7].

Osim ravnina simetrije, kristali imaju i osi simetrije oko kojih možemo zakretati kristal za određeni broj stupnjeva. Kristal kvarca ima oblik šesterokuta i 3 osi simetrije. Jedna od osi simetrije za kristal NaCl i kristal kvarca prikazana je na Slici 6.



Slika 6. a) Os simetrije NaCl b) Os simetrije kristala kvarca [7].

U kristalu kvarca izreže se pločica okomito na jednu od tri osi simetrije kristala. Ako se uspostavi razlika potencijala V između velikih ploha, električno polje paralelno je s binarnom osi simetrije kristala, debljina pločice l promijeniti će se za vrijednost $\pm \Delta l$.



Slika 7. Presjek kristala kvarca [8].

$$\Delta l = d_p \cdot V \tag{8}$$

gdje je d_p konstanta- modul piezoelektričnosti i iznosi $2,16 \cdot 10^{-12} \text{ mV}^{-1}$. Promjene debljina kristala zaista su male jer je i sam modul piezoelektričnosti vrlo malen. Stave li se na pločicu kvarca dvije

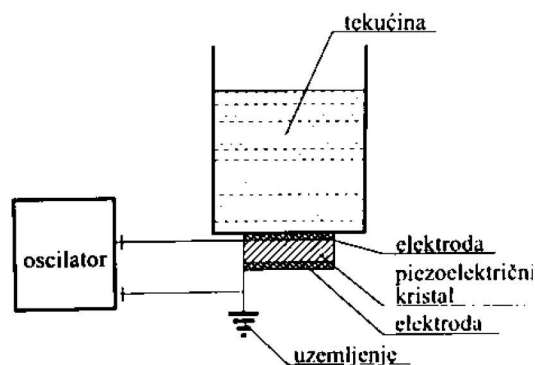
metalne elektrode i između njih uspostavi izmjenični napon frekvencije f , pločice će prisilno titrati tom frekvencijom, ali ona će zbog male amplitude biti veoma slab izvor ultrazvuka. Frekvencija osnovnog stanja dana je relacijom:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L} \quad (9)$$

gdje je v brzina širenja longitudinalnih valova u kremenu.

Piezoelektrični izvor ultrazvuka kristal je pobuđivan visokofrekventnim električnim naponom dobivenim pomoću električnog oscilatora. Padne li na piezoelektrični kristal ultrazvuk, zbog tlaka i piezoelektričnog efekta između ploha kristala pojavljuje se izmjenični napon koji se elektroničkim uređajima može pojačati. Na taj način poslužit će mi kao detektor ultrazvuka.

Često se ultrazvuk upotrebljava i u tekućinama pa je tada kvarc uronjen u tekućinu, ako je ona električni izolator (parafinsko ulje) ili je prilijepljen jednom plohom na posudu s ravnim dnom.



Slika 8. Ultrazvuk u tekućini [8].

Magnetostrikcija je pojava gdje feromagnetni materijali pod utjecajem magnetskog polja mijenjaju svoje dimenzije, npr. duljinu. Tako se ultrazvuk pomoću ove metode dobiva djelovanjem magnetskog polja nekih materijala kao što su: kobalt, nikal, željezo.

Promjena duljine šipke ovisna je o jakosti magnetskog polja, a proporcionalna je toj jakosti samo u relativno malom intervalu. Iz tog razloga magnetostrikcijski izvori ultrazvuka pobuđivani su određenom stalnom strujom koja je modulirana izmjeničnom strujom.

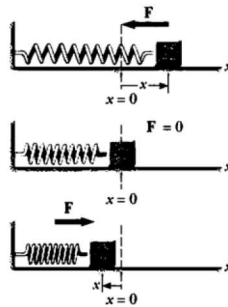
Ovim povijesnim pregledom upoznali smo najstarije tragove otkrića i ideje o nastanku zvuka te vidjeli kako su istraživači doprinijeli tome da danas bolje razumijemo što je to zvuk i znamo pojasniti sve pojave koje vežemo uz pojam zvuka. Kako nastaje zvuk frekvencije koje čujemo opisat ću u nastavku rada, nakon opisa valova, a zatim ću u eksperimentalnom dijelu proširiti područje istraživanja na oscilacije zvuka čija je frekvencija viša od 20 kHz.

2.4. Titranje i valovi

Kada se tijelo giba „amo-tamo“ oko nekoga ravnotežnog položaja, kažemo da titra. Ako mu se pritom položaj u ovisnosti o vremenu može prikazati sinusnom, odnosno kosinusnom funkcijom (jednadžba 10), nazivamo ga jednostavnim harmonijskim oscilatorom:

$$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi) \quad (10)$$

gdje je A - amplituda titranja, ω - kružna frekvencija, a φ - faza titranja.



Slika 9. Jednostavan harmonijski oscilator [9].

Najjednostavniji zvučni valovi su sinusoidalni valovi koji imaju određenu frekvenciju, amplitudu i valnu duljinu. Također, zvučni valovi putuju u svim smjerovima od izvora zvuka. Ako se baziram na idealizirani zvučni val koji se širi u pozitivnom x smjeru takav val je opisan funkcijom koja daje trenutni pomak y čestice u položaju x i vremenu t .

$$y(x, t) = A\cos(kx - \omega t) \quad (11)$$

Kako sam već spomenula zvučne valove najprikladnije je opisati fluktuacijom tlaka jer je naše uho, prije svega, osjetljivo na promjene tlaka.

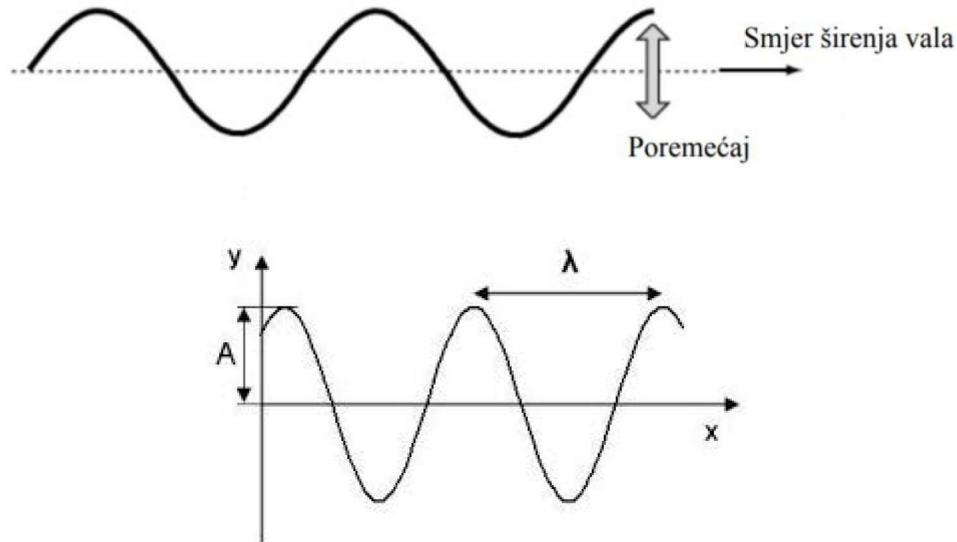
Kod sinusoidalnog zvučnog vala tlak varira iznad i ispod razine atmosferskog tlaka, ali je iste frekvencije kao što je frekvencija čestice zraka. Ljudsko uho funkcionira tako što osjeća varijacije tlaka. Zvučni val koji ulazi u ušni kanal vrši pritisak koji fluktuiraju jedna strana bubnjića, a zrak s druge strane bubnjića, kojega prema van ventilira Eustahijeva tuba, jest atmosferski tlak. Isto možemo prikazati relacijom:

$$p_a + p(x, t) \quad (12)$$

Gdje je $p(x, t)$ trenutna fluktuacija tlaka zvučnog vala u bilo kojoj točki x i vremenu t . To je količina tlaka od koje se razlikuje atmosferski tlak p_a .

Kada proučavamo gibanja, govorimo o tijelima koja se sa svim svojim česticama premještaju s jednog mjesta na drugo, dok val možemo definirati kao poremećaj u nekom sredstvu, a da se samo sredstvo ne pomiče. Pritom se poremećaj kroz sredstvo širi brzinom koja ovisi o fizikalnim karakteristikama tog sredstva. Budući da su čestice međusobno povezane molekulskim silama, titranje se postupno prenosi na susjedne čestice pa i one počinju titrati i prenositi ga dalje. Tako nastaje val. Val također prenosi energiju zahvaljujući kojoj na svojem putu može izvršiti

neki rad, a razlikujemo transverzalne i longitudinalne valove ovisno o smjeru oscilacija u sredstvu u odnosu na smjer širenja vala. Kod transverzalnih valova oscilacije sredstva okomite su na smjer širenja vala (Slika 10) [3].



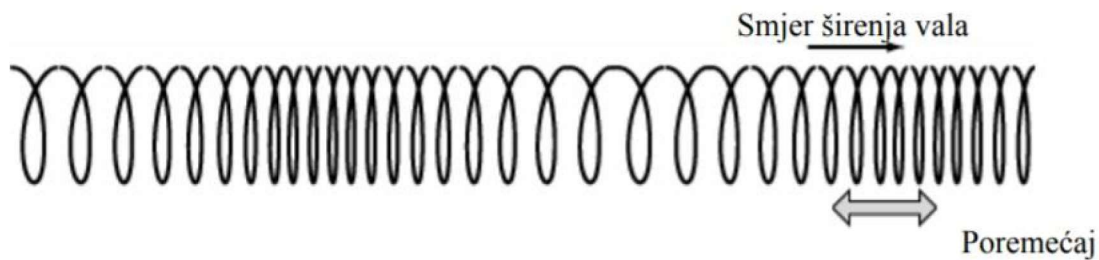
Slika 10. Transverzalni val [3].

Transverzalni se valovi najlakše mogu uočiti npr. na napetoj žici ili užetu. Na transverzalnom valu uočavamo brijeg i dol. Na vrhu brijega čestica doseže najviši položaj, a na dnu dola najniži. Udaljenost tih dvaju položaja od pravca oko kojega čestice titraju je amplituda A . Razmak između dva susjedna brijega ili dva susjedna dola nazivamo valnom duljinom i obilježavamo je grčkim slovom lambda- λ .

Jako bitna kategorija transverzalnih valova su elektromagnetski (EM) valovi, koji su jedinstveni po tome što za širenje ne trebaju medij. Različiti tipovi EM valova slični su u svim svojim svojstvima, osim u frekvenciji (valnoj duljini). Spektar EM zračenja može se podijeliti prema rastućim frekvencijama na sljedeći način: radio-valovi, IC područje, vidljivo područje, UV zračenje, X-zračenje, gama zračenje.

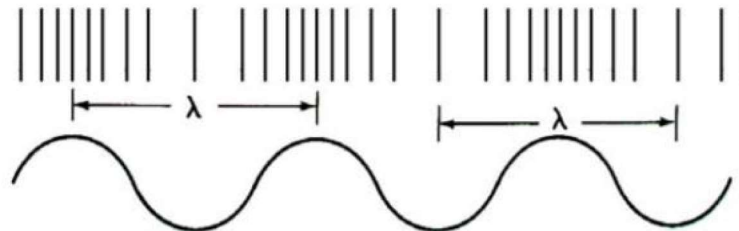
Transverzalni valovi ne mogu se širiti kroz tekućine ili plinove zato što ne postoji mehanizam koji bi omogućavao titranje čestica okomito na smjer širenja.

Kod longitudinalnih valova gibanje oscilacija u mediju koje tvore val odvija se u smjeru širenja vala. (Slika 11.)



Slika 11. Longitudinalni val [3].

Na longitudinalnom valu uočavamo zgušnjene i razrjeđene čestice sredstva kojim se val rasprostire. Valna duljina longitudinalnog vala jednaka je udaljenosti između dva susjedna zgušnjevanja ili razrjeđenja. Moguće je napraviti usporedbu između transverzalnih i longitudinalnih valova (Slika 12.): mjesto „zgušćivanja“ sredstva područje je gdje je tlak veći nego normalni tlak i analogno je brijegu transverznog vala. Isto tako, mjesto „razrjeđenja“ sredstva područje je manjeg tlaka od normalnog i analogno je dolu transverznog vala. Kao što smo prije spomenuli, zvuk je longitudinalni val, a ova analogija s zgušnjem i brijegom vala važna nam je za razumjevanje zvuka i ultrazvuka.



Slika 12. Usporedba transverznog i longitudinalnog vala [3].

Valove, osim prema načinu titranja čestica, razlikujemo i prema vrsti izvora, bio on točkasti ili ravni. Kružni val nastaje na mirnoj površini vode dodiranjem, npr. vrha olovke ili padanjem kapi, njegov izvor je točkasti i on se širi u svim smjerovima. Osim kružnog vala poznat nam je i ravni val, ukoliko površinu vode dodirujemo stranicom ravnala i on se širi u jednom smjeru. Valovi još mogu biti progresivni i stojni.

Kako longitudinalni i transverzalni val imaju iste karakteristike, možemo ih primijetiti i kod kružnih i ravnih valova. Dakle, brijeg ravnog vala je pruga, a kružni val ima brijeg u obliku kružnog vijenca. To su valne fronte. Ukoliko nacrtamo okomicu na valne fronte dobijemo valnu zraku koja pokazuje smjer širenja vala. Broj brijegova ili dolova koji nailaze na mjesto promatranja u jednoj sekundi ili broj titraja čestica sredstva u jednoj sekundi jest frekvencija vala (f).

3. EKSPERIMENTALNI DIO - Ultrazvuk

Kroz eksperimentalni dio proučit ću faznu i grupnu brzinu ultrazvuka u tekućini, ovisnost brzine o temperaturi sredstva i korištenje ultrazvuka primjenjivo na biološke teme prilikom izrade detektora šišmiša.

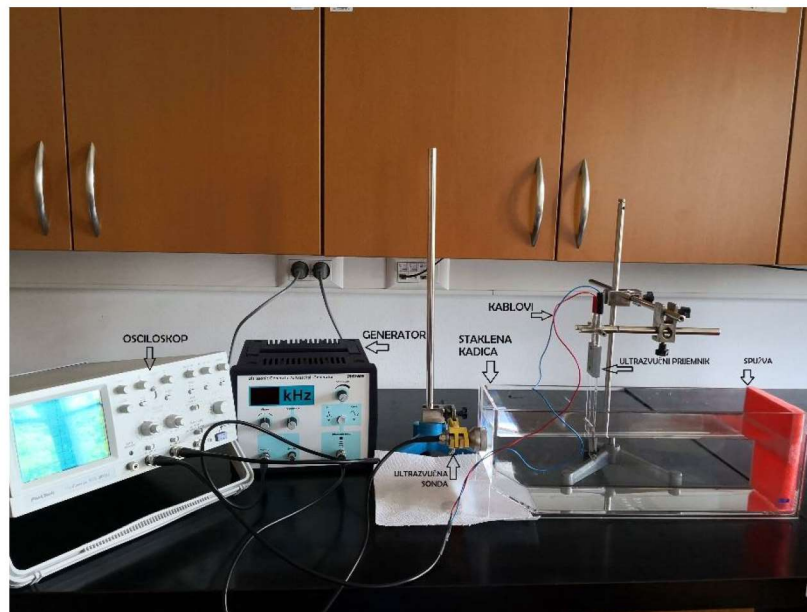
3.1. POKUS: Fazna i grupna brzina ultrazvuka u tekućinama [11].

Pribor: ultrazvučna sonda, ultrazvučni prijemnik (pick up), ultrazvučni generator, kadica dimenzije (45 cm x 12 cm x 15 cm), optička klupa s nosačima, stalak za kadicu (stol), hvataljke, stativ (2 kom), dvokanalni osciloskop 20 MHz, kablovi/adapteri, termometar, tekućine za mjerenje (vodena otopina natrijeva klorida (10 %), destilirana voda (5 L) i alkohol)

Zadaci:

1. Odrediti faznu brzinu ultrazvuka u tekućinama.
 - Izmjeriti prijeđenu udaljenost Δl za određeni broj pomaka n
 - Nacrtati graf ovisnosti udaljenosti Δl o broju pomaka n te izračunati nagib pravca metodom najmanjih kvadrata. Koji podatak nagib pravca daje za pojedinu tekućinu?
 - Odrediti valnu duljinu za određeni broj pomaka
 - Odrediti faznu brzinu za određeni broj pomaka
 - Odrediti odstupanje od prosjeka za faznu brzinu i valnu duljinu
 - Nacrtati graf ovisnosti fazne brzine o gustoći tekućine
2. Odrediti grupnu brzinu.
3. Usporediti faznu i grupnu brzinu za danu vježbu
4. Izvesti račun pogrešaka i nesigurnosti mjerenja

Slika:



Slika 13: Složena aparatura za izvođenje pokusa

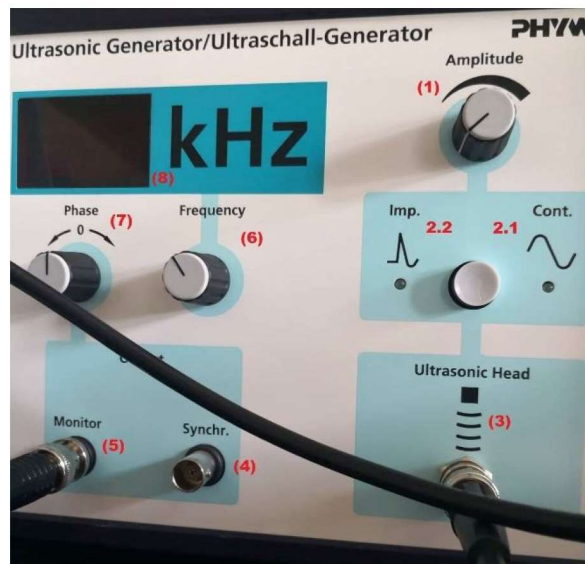
Teorijska podloga i priprema za provođenje eksperimenta:

Faznu brzinu ultrazvuka u tekućini povezujemo s valnom duljinom i frekvencijom preko izraza $c_p = \lambda \cdot f$ što ću objasniti dalje u tekstu kroz teorijsku podlogu i pripremu za izvođenje pokusa. Relativnu fazu signala dobivenih ultrazvučnom sondom mjerim kao funkciju udaljenosti od pick up-a (prikazan sinusoidom na zaslonu osciloskopa), tražim ultrazvučnu valnu duljinu i faznu brzinu ako je frekvencija poznata (oko 800 kHz).

Grupna brzina često se definira kao brzina širenja energije te ovisi o osobinama sredstva kroz koje prolaze valovi.

Kako bi lakše razumjela provođenje cijelog eksperimenta potrebno je pojasniti svaki od uređaja koje sam koristila.

Ultrazvučni generator uređaj je koji šalje valove određene frekvencije do ultrazvučne glave i prikaz tih ultrazvučnih valova na jednom je kanalu zaslona osciloskopa. Kod priključivanja ultrazvučnog generatora s ostalim mjernim instrumentima potrebno je pripaziti na duljinu priključnih vodova koja ne bi trebala biti dulja od 2 m.



Slika 14. Ultrazvučni generator

Nadalje, svaka tipka na ultrazvučnom generatoru ima svoju funkciju, slijedi [12]:

- (1) Tipka za podešavanje amplitude
- (2) Tipka kojom podešavam način rada kroz dva područja, te LED koji svijetli ovisno o izabranom režimu (modu) rada
 - 2.1. Sinusni mod - sinusoidne oscilacije, izbor frekvencija od 780 do 830 kHz
 - 2.2. Pulsni mod - niz impulsa stalne amplitude i frekvencije od (500 ± 50) kHz
- (3) Izlaz na koji spajam ultrazvučnu glavu (sondu) koja se „priljubi“ na staklenu kadnicu, kako bi lakše „priljubila“ sondu koristila sam glicerol
- (4) Izlaz Sync
- (5) Izlazna utičnica gdje spajam osciloskop
- (6) Tipka za podešavanje frekvencije u rasponu od 780 do 830 kHz
- (7) Tipka za podešavanje faze
- (8) Zaslona na kojem se prikazuje frekvencija na izlazu (npr. 805 ± 3 kHz)

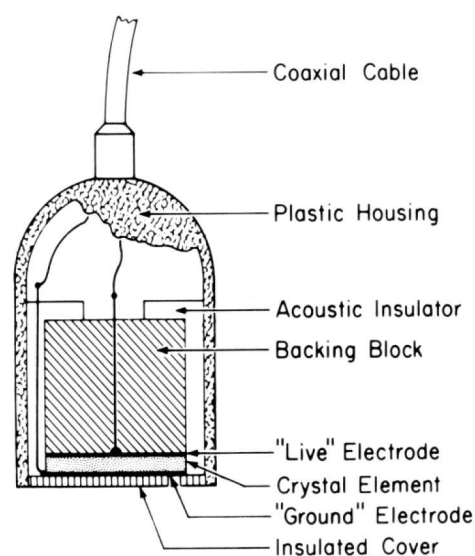
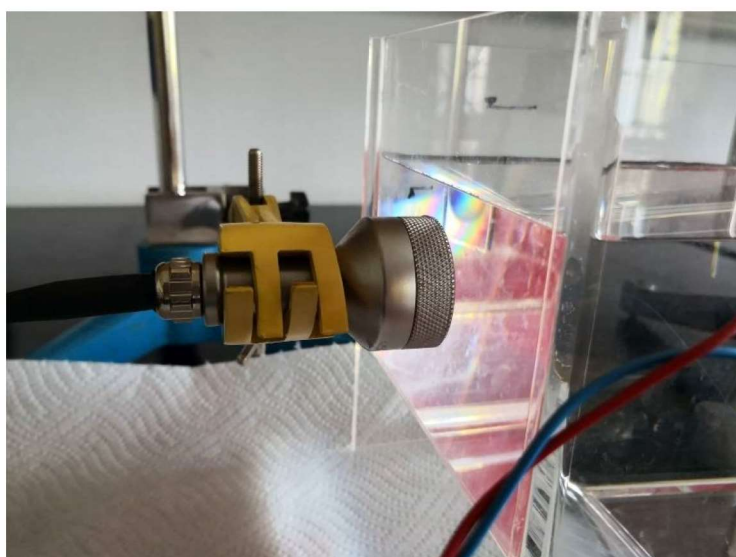
Pick up je ultrazvučni prijemnik s piezoelektričnim pretvaračem u zapečaćenom kućištu od akrilnog stakla, a služi za detekciju ultrazvučnih valova i impulsa na drugom kanalu osciloskopa. Promjer mu je 25 mm, a radi na frekvenciji od oko 800 kHz te je montiran na spomenuto kućište dimenzija 185 mm x 35 mm x 12 mm.



Slika 15. Pick up [13].

Ultrazvučna sonda (glava) uređaj je koji odašilje ultrazvučne valove. Ona je izvana napravljena nepropusno od metalnih dijelova, a iznutra se nalazi pločica s piezoelektričnim kristalima. Na sondama se nalaze plohe koje su izrađene najčešće od srebra te se na istoj plohi nalaze metalne elektrode koje omogućavaju dovođenje električnog signala, na rubu pločice pretvaračkog materijala nalazi se prstenasti izolator koji sprječava proboj.

Osim ravne sonde koju sam koristila postoji kutna sonda, specijalna sonda, fokusirajuća te dvostruka sonda. Kod ravne sonde pretvarač se pobuđuje putem elektroda koje su koaksijalnim kabelom vezane za ultrazvučni uređaj, točnije ultrazvučni generator. Neke sonde mogu ujedno i slati i primati ultrazvučne signale, ali ova koju sam koristila nema takvu mogućnost.



Slika 16. Ultrazvučna sonda prislonjena na posudu i skica njenog nutarnjeg izgleda

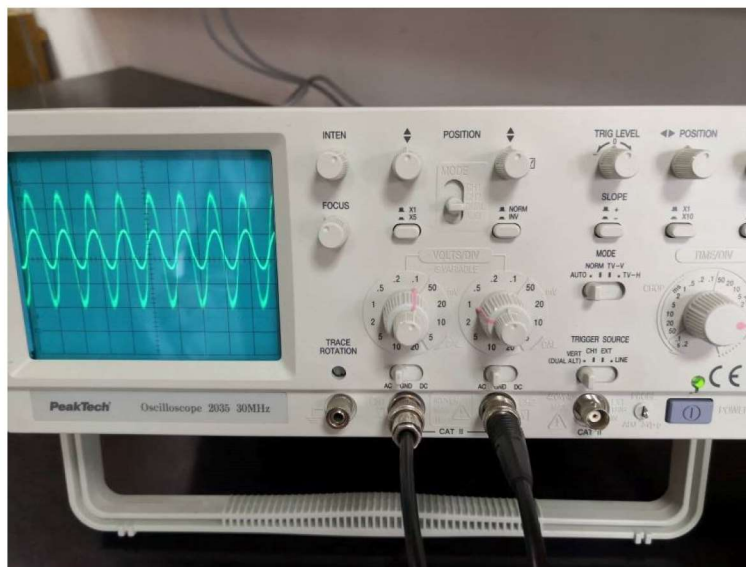
Osciloskop (PeakTech P-2035) je još jedan od važnih mjernih instrumenata u ovom eksperimentu, a neophodan je u obrazovanju i laboratoriju. Obuhvaća rad s frekvencijom od 10

Hz do 30 MHz. Što sve točno može biti prikazano na zaslonu osciloskopa biram pomoću funkcije Mode: CH1, CH2, ADD, DUAL, CHOP ili ALT, dakle, signal koji dobijem iz kanala 1 (CH1), zatim iz kanala 2, a također mogu koristiti i dualni prikaz što bi značilo da signali koji dolaze iz kanala 1 i 2 mogu biti istovremeno prikazani te ih mogu usporediti. Na zaslonu osciloskopa bitno je definirati kolika je vremenska skala podjele na kvadratiće (TIME/DIV). Na osciloskopu koji sam imala na raspolaganju to je $1 \mu\text{s}$, a dobila sam to uvrstivši u formulu, koja povezuje frekvenciju i period, frekvenciju kojom sam se koristila.

$$f = 800 \text{ kHz}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{800000} = 1 \mu\text{s}$$

Također, dobiveni grafovi (sinusoide) mogu se pomicati u X ili Y smjeru po koordinatnom sustavu zaslona osciloskopa.



Slika 17. Izgled signala na osciloskopu

Trigger Level određuje poziciju početne točke signala koju mogu također pomicati lijevo - desno po X osi.

Sve ostale komponente koje koristim u eksperimentu dobro poznajem, bitno je pravilno spojiti vodiče te uključiti uređaje tek kada provjerim sve kablove.

Prvi dio eksperimenta u kojem provjeravam faznu i grupnu brzinu ultrazvuka u sredstvu izvodi se pri stalnoj temperaturi ($t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$).

Spojila sam aparaturu kao što je prikazano na slici, no morala sam pripaziti na neke detalje koji mi kasnije mogu pomoći kod izvođenja pokusa.

Bitno je površinu koja emitira zvuk, točnije površinu ultrazvučne sonde, premazati glicerinom kako bi se što bolje „priljubila“ uz stjenke posude (kadice) i poboljšala povezanost, tj. kako bi se maksimalno povećao kontakt te kako bi se eliminirao zrak između kadice i sonde zbog hlađenja glave i raspršenja ultrazvuka u zraku. Inače se koristi tzv. ultrazvučni gel, prilikom medicinskih pretraga.

Kako bi izbjegla stojne valove i „jeku“ zbog oblika kadice, na suprotnu stranicu posude (kadice), nasuprot ultrazvučne sonde, potrebno je staviti materijal koji će apsorbirati ultrazvuk. Koristila sam spužvicu, a može se koristiti pjena ili zgužvani papir. Zvučni valovi ultrazvučno se prenose piezoelektričnim efektom jer je potrebno detektirati vrlo male pomake - od ultrazvučnog generatora, preko ultrazvučne sonde, do osciloskopa koji pretvara i prikazuje rezultatni signal kao sinusoidu.

Izvršila sam mjerenja za 3 različite tekućine (alkohol, destilirana voda, natrijev klorid) gdje sam otopinu NaCl-a napravila samostalno tako da je maseni udio NaCl-a u vodi 10 %.

Vodeći se relacijom $w = \frac{m(\text{rastvorne soli})}{m(\text{vode})} \cdot 100\%$ dobila sam kako je potrebno 500 g soli otopiti u 5 L vode kako bi dobila maseni udio od 10 % NaCl-a.

$$w = \frac{500 \text{ g}}{5000 \text{ g}} \cdot 100\% = \frac{1}{10} \cdot 100\% = 10\%$$

Kao pomoćni pribor u stvaranju određenog masenog udjela NaCl u vodi koristila sam magnetsku miješalicu, u izradi djelatnika Odjela za fiziku u Osijeku, koja radi na principu okretanja magneta (magnetsko miješalo je obloženo teflonom) koji položim u čašu s tekućinom te istu postavim na magnetsku miješalicu. Miješalica je opremljena gumbom za napajanje te tako mogu uključiti i isključiti magnetsku miješalicu te regulirati brzinu okretanja magnetskog miješala.

Rezultati mjerenja:

Određivanje fazne brzine [11].

Kada mijenjam Δl kao udaljenost pick up-a i ultrazvučne sonde relativna faza je 0 ($\Delta\varphi = 0$), a promjena faze računa se preko relacije:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{\lambda} 2\pi \tag{13}$$

Nadalje, signal se preklapa kao:

$$\Delta\varphi = n \cdot 2\pi \quad (14)$$

Valna duljina tada je definirana preko izraza:

$$\lambda = \frac{\Delta l}{\Delta\varphi} 2\pi = \frac{\Delta l}{n} \quad (15)$$

Ukoliko je frekvencija zvuka poznata ($f = 800$ kHz), fazna brzina tada je definirana kao:

$$c_p = \lambda \cdot f \quad (16)$$

U Tablici 2 prikazala sam podatke mjerenja potrebne za računanje valne duljine i fazne brzine ultrazvuka kod promatranih tekućina. Neposredno sam mjerila broj pomaka valova iz faze n na zaslonu osciloskopa (broj promjena faze) i prijeđenu udaljenost Δl koju sam mjerila mjernom vrpcom na pomičnoj gredi po kojoj klizi šipka s pick up-om.

Valnu duljinu i faznu brzinu računam prema izrazima 3 i 4, pri poznatoj frekvenciji ultrazvuka od $f = 800$ kHz.

Tablica 2. Mjerenje fazne brzine ultrazvuka u tekućinama

tekućina		destilirana voda			Alkohol			NaCl		
		$\rho_V = 997 \text{ kg/m}^3$			$\rho_A = 789 \text{ kg/m}^3$			$\rho_S = 1071 \text{ kg/m}^3$		
mjerenje	n	Δl_V	λ_V	c_{PV}	Δl_A	λ_A	c_{PA}	Δl_S	λ_S	c_{PS}
jedinica	-	mm	Mm	m/s	mm	Mm	m/s	mm	mm	m/s
1.	5	9,5	1,9	1520	5,0	1,0	800	11,9	2,4	1900
2.	10	19,0	1,9	1520	11,0	1,1	880	22,5	2,3	1800
3.	15	28,5	1,9	1520	15,0	1,0	800	32,8	2,2	1750
4.	20	38,0	1,9	1520	18,0	0,9	720	41,9	2,1	1680
5.	25	47,0	1,9	1500	24,0	1,0	770	52,0	2,1	1660
6.	30	56,5	1,9	1510	29,0	1,0	770	62,2	2,1	1660
7.	35	66,0	1,9	1510	34,0	1,0	780	71,9	2,1	1640
8.	40	75,5	1,9	1510	38,0	1,0	760	82,1	2,1	1640
9.	45	84,0	1,9	1490	42,0	0,9	750	92,4	2,1	1640
10.	50	93,5	1,9	1500	46,0	0,9	740	103,0	2,1	1650
11.	55	103,0	1,9	1500	49,0	0,9	710	112,0	2,0	1630
12.	60	112,0	1,9	1490	55,0	0,9	730	122,0	2,0	1630

U Tablici 3 prikazala sam izračun mjernih nesigurnosti pa, uz maksimalne apsolutne i relativne pogreške te standardne devijacije, moje posredno mjerene vrijednosti mogu usporediti s tabličnim vrijednostima i na taj način odrediti postotnu pogrešku s tabličnim rezultatima prema relaciji:

$$p_{c_p} = \frac{c_{p,tablično} - c_{p,eksper.}}{c_{p,tablično}} \cdot 100 \% \quad (17)$$

Tablica 3. Izračun srednjih vrijednosti i račun nesigurnosti mjerenja fazne brzine

Mjerenje	\bar{c}_p	Δc_{pm}	r_{c_p}	σ_{c_p}	$c_{p,tablično}$	p_{c_p}
Jedinica	m/s	m/s	%	m/s	m/s	%
destilirana voda	1510	10	1	10	1498	0,1
Alkohol	770	110	15	50	1142	33
NaCl	1690	210	13	90	1800	6

Kod tablice izračuna nesigurnosti mjerenja oznake s indeksima označavaju mi:

\bar{c}_p – srednja vrijednost fazne brzine

Δc_{pm} – maksimalna apsolutna pogreška fazne brzine

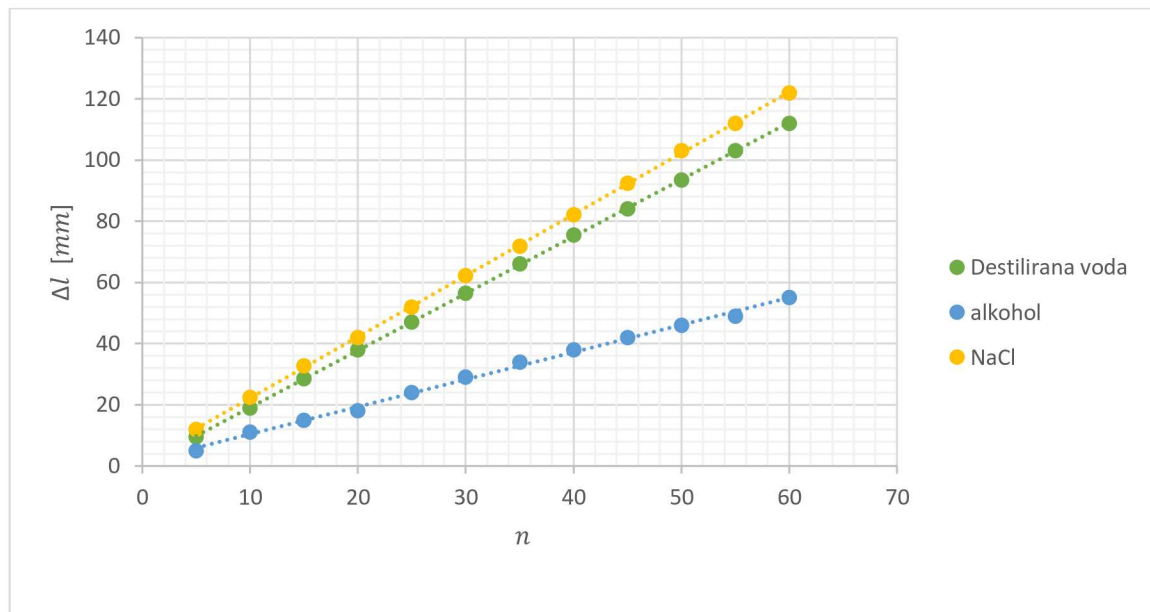
r_{c_p} – relativna apsolutna pogreška fazne brzine

σ_{c_p} – standardna devijacija fazne brzine

$c_{p,tablično}$ – tablična vrijednost fazne brzine

p_{c_p} – postotna pogreška fazne brzine (usporedba s tabličnom vrijednošću)

Potrebno je nacrtati pripadajući graf $\Delta l - n$.



Slika 18. Ovisnost udaljenosti Δl o broju pomaka n za različite gustoće tekućine pri istoj frekvenciji.

Na Slici 18 prikazala sam ovisnost udaljenosti Δl o broju pomaka n , za različite gustoće tekućine pri istoj frekvenciji. Grafovi su pravci pa iz tih rezultata mogu izračunati valnu duljinu i procijeniti pogrešku mjerenja jer mi nagib pravca (koeficijent smjera) predstavlja srednju vrijednost valne duljine ultrazvuka. Izračunala sam jednadžbe pravca za pojedine tekućine metodom najmanjih kvadrata:

destilirana voda

$$\Delta l_V = 1,86 \cdot n + 0,51 \text{ mm}$$

alkohol – etanol

$$\Delta l_A = 0,89 \cdot n + 1,50 \text{ mm}$$

NaCl

$$\Delta l_{\text{NaCl}} = 2,00 \cdot n + 2,21 \text{ mm}$$

Uspoređujući te nagibe pravca s valnim duljinama iz Tablice 2 mogu zaključiti kako su rezultati usporedivi, ali ću izračunati i na ovaj način mjernu nesigurnost. Dakle, na mjernu nesigurnost fazne brzine utječu mjerne nesigurnosti u određivanju valne duljine (tj. mjerenje Δl) i frekvencije. Maksimalnu apsolutnu pogrešku u mjerenju valne duljine mogu izračunati iz Tablice

2 (s više decimala nego smo prikazali rezultate valne duljine, zbog zapisa značajnih znamenaka), dok je odstupanje frekvencije dano od proizvođača uređaja i iznosi ± 5 kHz pri 800 kHz.

Iz jednadžbe

$$c_P = \lambda \cdot f$$

mogu izvesti izraz za pogrešku fazne brzine

$$\Delta c_P = \Delta \lambda_m \cdot \bar{f} + \bar{\lambda} \cdot \Delta f_m \quad (18)$$

Za destiliranu vodu iznosi:

$$\Delta c_{PV} = \Delta \lambda_{Vm} \cdot \bar{f} + \bar{\lambda}_V \cdot \Delta f_m = 0,018 \cdot 10^{-3} \cdot 800000 + 1,884 \cdot 10^{-3} \cdot 5000 = 24 \text{ m/s} .$$

Za alkohol iznosi:

$$\Delta c_{PA} = \Delta \lambda_{Am} \cdot \bar{f} + \bar{\lambda}_A \cdot \Delta f_m = 0,141 \cdot 10^{-3} \cdot 800000 + 0,959 \cdot 10^{-3} \cdot 5000 = 118 \text{ m/s} .$$

Za vodenu otopinu NaCl iznosi:

$$\Delta c_{PS} = \Delta \lambda_{Sm} \cdot \bar{f} + \bar{\lambda}_S \cdot \Delta f_m = 0,267 \cdot 10^{-3} \cdot 800000 + 2,113 \cdot 10^{-3} \cdot 5000 = 235 \text{ m/s} .$$

Rezultate mjerenja fazne brzine stoga mogu zapisati pazeći na broj značajnih znamenaka

za vodu:

$$c_{pV} = (1510 \pm 20)_{12} \text{ m/s}$$

za alkohol:

$$c_{pV} = (800 \pm 100)_{12} \text{ m/s}$$

za vodenu otopinu NaCl:

$$c_{pV} = (1700 \pm 200)_{12} \text{ m/s}$$

Iz Slike 18 mogla bi vrlo jednostavno zaključiti kako postoji neka ovisnost o gustoći tekućine, ali ne treba zaboraviti kako fazna brzina ovisi i o elastičnim svojstvima sredstva kroz koje se širi, pa kako elastičnost svih tekućina nije ista, ne možemo tako lako donostiti generalne zaključke o povezanosti fazne brzine i gustoće tekućine. Stoga pojasnimo bolje tu ovisnost.

Brzina zvuka povezana je s promjenom tlaka i gustoće medija te se može zapisati kao izraz:

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \quad (19)$$

gdje je:

c – brzina zvuka

dp – promjena tlaka

$d\rho$ - promjena gustoće.

Brzina zvuka može se alternativno izraziti pomoću Hookovog zakona kao

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (20)$$

gdje je:

c – brzina zvuka

B – volumni (ukupni) modul elastičnosti

ρ - gustoća.

Jednadžba vrijedi za plinove, tekućine i čvrste tvari te nam govori kako je brzina zvuka veća za medije s većim volumnim modulom elastičnosti i/ili manjom gustoćom. Ukoliko tvar nije uopće stlačiva, brzina bi zvuka bila beskonačna. Za vodu ukupni modul elastičnosti iznosi $B_V = 2,15 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$, a za alkohol $B_A = 1,06 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$.

Određivanje grupne brzine.

Grupnu brzinu računam relacijom $c_G = \frac{\Delta l}{\Delta t}$. Kako sam oba pokusa izvodila u isto vrijeme, prijeđena je udaljenost Δl jednaka kao u Tablici 2., dok se vrijeme t računa relacijom $t = \frac{N \cdot T}{x}$, tj. to je vrijednost X osi koju sam očitala na osciloskopu – vremenska os. Stoga mi je razlika u vremenu jednaka Δt , takozvano *delay time*, između dva prikaza vala na osciloskopu.

N – broj između očitavanja prijeđene udaljenosti

T - period, za frekvenciju 800 kHz period iznosi $T = 1,25 \mu\text{s}$

x – udaljenost ili period na ekranu osciloskopa, vrijedi $x = 1 \mu\text{s}$

Tako sam dobila sljedeće:

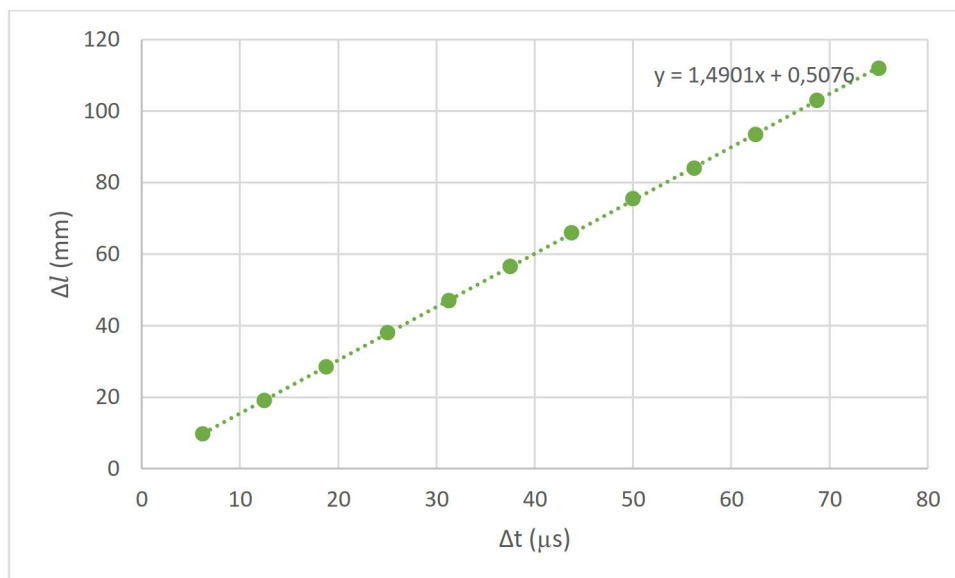
Tablica 4. Izračun grupne brzine za destiliranu vodu

mjerenje	n	Δl	Δt	c_G
jedinica	-	mm	μs	m/s
1.	5	9,5	6,25	1520
2.	10	19,0	12,50	1520
3.	15	28,5	18,75	1520
4.	20	38,0	25,00	1520
5.	25	47,0	31,25	1500
6.	30	56,5	37,50	1510
7.	35	66,0	43,75	1510
8.	40	75,5	50,00	1510
9.	45	84,0	56,25	1490
10.	50	93,5	62,50	1500
11.	55	103,0	68,75	1500
12.	60	112,0	75,00	1490

Tablica 5. Izračun srednje vrijednosti i račun nesigurnosti mjerenja grupne brzine

Mjerenje	\bar{c}_G	Δc_{Gm}	r_{c_G}	σ_{c_G}	$c_{G\text{tablično}}$	p_{c_G}
Jedinica	m/s	m/s	%	m/s	m/s	%
destilirana voda	1510	10	1	11	1498	1

Ukoliko nacrtam graf i napravim analizu kao u prethodnom dijelu, za faznu brzinu, mogu dobiti nagib pravca $\Delta l - \Delta t$, ali koji sada ima značenje grupne brzine.



Slika 19. Ovisnost udaljenosti Δl o vremenu kašnjenja Δt .

Izračunala sam jednadžbu pravca za destiliranu vodu metodom najmanjih kvadrata:

$$\Delta l_V = 1,490 \cdot \Delta t + 0,508 \text{ mm}$$

iz čega nakon pretvaranja mjernih jedinica dobivam valnu brzinu od 1490 m/s.

Rezultate mjerenja grupne brzine stoga mogu zapisati pazeći na broj značajnih znamenaka za vodu:

$$c_{GV} = (1510 \pm 10)_{12} \text{ m/s}$$

Grupna i fazna brzina međusobno su povezane relacijom $c_G = c_P - \lambda \frac{dc_P}{d\lambda}$. Kako sam dobila da se rezultati za faznu i grupnu brzinu slažu ($c_G = c_P$), unutar mjerne nesigurnosti mjerenja, mogu zaključiti kako je izraz $\lambda \frac{dc_P}{d\lambda} = 0$, te da nema raspršenja.

Zaključak:

U pokusu određivanja fazne i grupne brzine ultrazvuka, pomoću jednostavne aparature koja se sastoji od: prijamnika i predajnika ultrazvuka, kadice s tekućinom, mjerne vrpce i osciloskopa, pokazala sam kako brzina ultrazvuka ovisi o vrsti tekućine. Računom sam dobila faznu brzinu za određena sredstva te poznatom relacijom došla do grupne brzine i činjenice da su vrijednosti $c_G = c_P$ unutar mjerne nesigurnosti. Rezultat mjerenja mogla bi poboljšati korištenjem boljeg mjerila za pomicanje ultrazvučnog prijamnika jer ograničenje ove metode ne dozvoljava bolju točnost mjerenja.

3.2. POKUS: Ovisnost brzine ultrazvuka o temperaturi [14].

Pribor: ultrazvučna sonda, pick up, ultrazvučni generator, kadica dimenzije (45 cm x 12 cm x 15 cm), optička klupa s nosačima, stalak za kadice (stol), hvataljke, stativ (2 kom.), dvokanalni osciloskop 20 MHz, kablovi/ adapteri, termometar, tekućine za mjerenje (voda), električni grijač s termostatom.

Zadatak:

1. Eksperimentalno provjeriti kako brzina ultrazvuka ovisi o promjeni temperature tekućine.
 - Nacrtati graf ovisnosti brzine zvuka o promjeni temperature

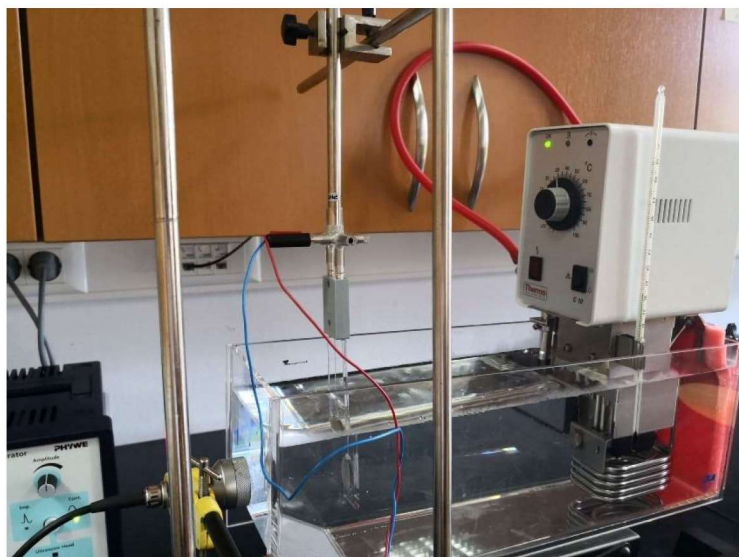
Slika:



Slika 20. Aparatura složena za pokus (dodan je termostad i grijač).

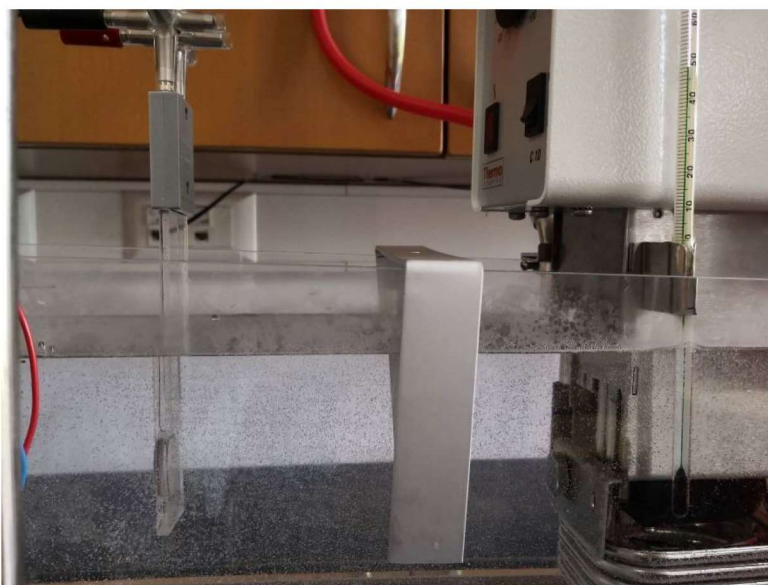
Teorijska podloga i priprema za provođenje eksperimenta:

Aparaturu sam spojila kao što je prikazano na Slici 20. Koristila sam samo jednu tekućinu, u ovom slučaju vodu, te joj mijenjala temperaturu u određenim intervalima. Nadalje, kako sam koristila istu aparaturu kao u prvom dijelu pokusa neću je ponovno opisivati, već samo mogu reći kako sada za zagrijavanje koristim grijač uronjen u vodu, pričvršćen na jedan kraj kadice, a ugrađeni termostad mi osigurava stalnu temperaturu vode prilikom izvođenja pokusa te mijenjanje temperature.



Slika 21. Grijač s termometrom uronjen u kadicu.

Prilikom izvođenja ovog eksperimenta treba obratiti pozornost na mjehuriće koji će se pojaviti pri nešto većoj temperaturi (40 °C) zbog zagrijavanja tekućine, a koji mogu smetati u izvođenju pokusa. Mjehuriće sam maknula s pick up-a pomoću savijene žice kako bi mogla nesmetano nastaviti mjerenje. Ujedno treba paziti da se ne prekorači temperatura od 60 °C, zbog mogućeg odvajanja ljepila i deformiranja korištene plastične kadike.



Slika 22. Pojava mjehurića pri temperaturi od 50 °C.

Rezultati mjerenja:

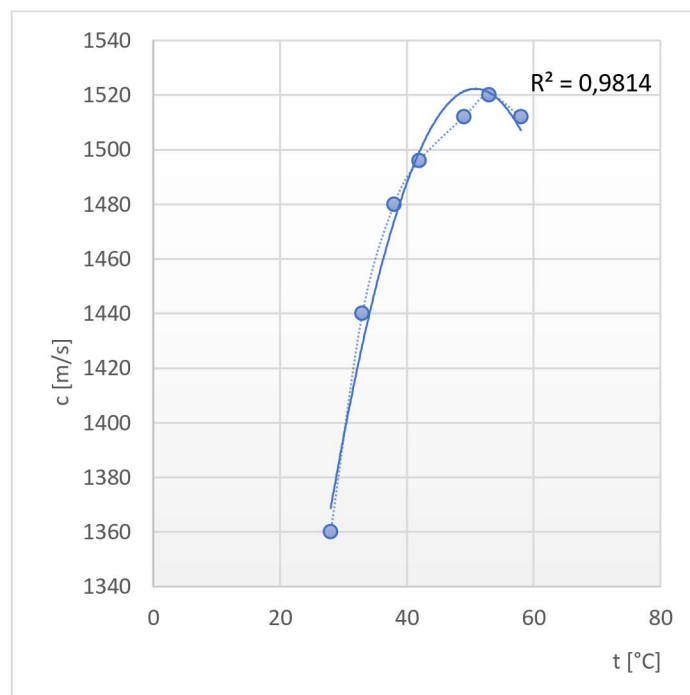
Iz Tablice 6. mogu zaključiti kako brzina ultrazvuka ovisi o promjeni temperature. Ukoliko želim izračunati valnu duljinu potrebno je odrediti pomak pick up-a za $n = 10$.

Koristeći se relacijom $\lambda = \frac{\Delta l}{n}$, te preračunavši pomak pick up-a Δl u metre, dobila sam valnu duljinu koja je izražena također u metrima. Nadalje, iz navedenih podataka dobila sam brzinu zvuka (c) u vodi pri određenoj temperaturi koju sam očitala termometrom, relacijom: $c = \lambda \cdot f$, frekvencija je poznata i iznosi 800 000 Hz.

Tablica 6. Ovisnost brzine ultrazvuka o temperaturi pri frekvenciji ultrazvuka od 800 kHz.

mjerenje	t	n	Δl	λ	c
jedinica	°C	-	mm	m	m/s
1.	28,0	10	17,0	0,00170	1360
2.	33,2	10	18,0	0,00180	1440
3.	38,0	10	18,5	0,00185	1480
4.	42,1	10	18,7	0,00187	1500
5.	49,0	10	18,9	0,00189	1510
6.	53,1	10	19,0	0,00190	1520
7.	58,0	10	18,9	0,00189	1510

Ukoliko nacrtam grafikon $c-t$ mogu si predočiti danu ovisnost.



Slika 23. Brzina ultrazvuka u ovisnosti o temperaturi.

Najprije mogu primijetiti da se do približno 53 °C brzina zvuka povećava, potom dostiže svoj maksimum i zatim počinje padati. Uzrok je već spomenuti volumni modul elastičnosti i promjena gustoće tekućine uz promjenu temperature.

Uz izvođenje pokusa navodim i izvore mogućih pogrešaka pri mjerenju: očitavanje temperature s termometra i očitavanja promjene udaljenosti na pomičnoj gredi.

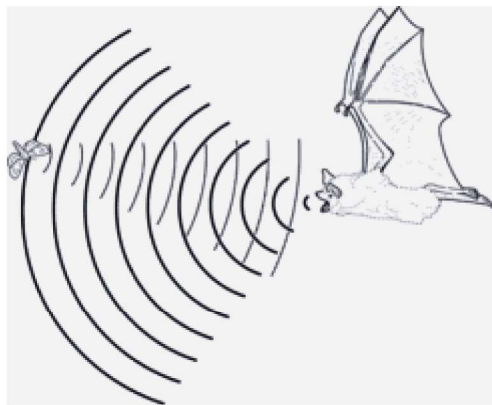
Zaključak:

Rezultat samog mjerenja vrlo je zanimljiv jer se zagrijavanjem tekućine sve do 53 °C brzina zvuka povećavala te je onda opet počela padati što se može vidjeti na Slici 23. Rezultat mjerenja mogu objasniti već ranije spomenutom relacijom, $c = \sqrt{\frac{1}{\rho\kappa}}$ gdje je ρ gustoća tekućine, a κ koeficijent stlačivosti sredstva (obrnuto razmjernan volumnom modulu elastičnosti, $k = 1/B$). U svim tekućinama, osim vode, stlačivost se povećava, a gustoća opada kako temperatura raste. Stlačivost se u početku smanjuje, a u ovom pokusu je to do 53°C i tek nakon toga se povećava. Ovaj pokus je potrebno izvesti što brže jer je moguće dodatno zagrijavanje tekućine emitiranjem ultrazvuka uz grijanje grijača.

4. BAT DETEKTOR - Izrada ultrazvučnog detektora glasanja šišmiša

Osim eksperimentalnog dijela koji sam odradila u praktikumu Odjela za fiziku odlučila sam se za dodatnu primjenu ultrazvuka u drugim područjima znanosti, koja će nadopuniti ovaj moj diplomski rad - izrada detektora šišmiša, a pomoću kojeg mogu nadopuniti i svoje znanje fizike korelacijom s elektronikom i biologijom.

Prve dokaze o postojanju eholokacije kod šišmiša pokusom je pokazao 1790. godine Lazzaro Spallanzani, kao sam već ranije navela u povijesnom dijelu. Opazio je da šišmiši love plijen i orijentiraju se u prostoru pomoću sluha, a ne vida, prikazano na Slici 24. Stoga mi je ta činjenica bila dodatna motivacija za izradu ovog detektora.



Slika 24. Eholokacijom šišmiš detektira plijen [15].

Danas u Hrvatskoj živi oko 35 vrsta šišmiša, dok ih u Europi ima nešto više oko 45 vrsta. Šišmiši su prilagođeni životu u najrazličitijim uvjetima i staništima. Iste vrste šišmiša koriste se jednim tipom staništa preko ljeta, a drugim, za sklonište, preko zime. Osim prirodnim, šišmiši se koriste i staništima koja su pod velikim utjecajem čovjeka te umjetnim skloništima kao što su tavani zgrada, crkvi, itd. Posebno je poznato da se više od 65% šišmiša hrani kukcima dok se samo neke južno-američke vrste hrane krvlju.

Utjecajem različitih ljudskih aktivnosti, kao što su premazivanje građevinskog drveta pesticidima, rušenje i obnavljanje starih zgrada i crkava, trovanje kemikalijama te uništavanje i uznemiravanje kolonije u špiljama, nestaju njihova skloništa. Baš zbog takvog ponašanja i nepoznavanja korisnosti šišmiša većina ih je u europskim zemljama više ili manje ugrožena, dok su u pojedinim zemljama neke vrste i izumrle [15].

Ukoliko želimo saznati više o rasprostranjenosti šišmiša i njihovom području lova i staništama, potrebno je provesti nekoliko različitih metoda prikupljanja podataka i praćenja stanja jer se na sve vrste šišmiša u Hrvatskoj ne može primijeniti jedna metoda. Pojedine vrste ili skupine vrsta zahtijevaju individualne metode ili kombinaciju više njih.

Metode se mogu podijeliti u dvije skupine, kada prikupljamo podatke u razdoblju kada su šišmiši aktivni i kada prikupljamo podatke o populacijama šišmiša u skloništima.

1. Metode prikupljanja podataka tijekom aktivnog lova:
 - a) Bilježenje aktivnosti šišmiša pomoću Bat detektora
 - b) Hvatanje šišmiša mrežama
2. Metode prikupljanja podataka o populacijama u skloništu:
 - a) Prebrojavanje šišmiša unutar porodijske kolonije
 - b) Prebrojavanje unutar zimskih skloništa
 - c) Potraga za novim skloništima

Metoda kojom sam se koristila kroz ovaj diplomski rad korištenje je bat-detektora u vlastitoj izradi, više radi popularizacije same znanosti među djecom, nego radi bilježenja aktivnosti šišmiša jer biologija nije naše primarno područje [15].

4.1 Ultrazvučni detektor glasanja šišmiša ili bat-detektor

Ultrazvučni detektor glasanja šišmiša ili bat-detektor uređaj je kojim utvrđujemo prisutnost šišmiša na određenom području slušanjem njihovih ultrazvučnih-eholokacijskih signala. Osim detektiranja šišmiša na određenim lokacijama, bat-detektorom možemo i odrediti vrstu/rod šišmiša jer im se signali, tj. frekvencije, razlikuju, odnosno mogu zvučati kapljično, suho ili kliktajuće. Ti se signali pomoću bat-detektora pretvaraju u frekvencije koje čovjek može čuti, dakle do 20 kHz. Zvukovi koji se konvertiraju mogu se tada čuti preko zvučnika ili slušalica na bat-detektoru. Moj bat-detektor spojen je na slušalicu, što ću prikazati kroz postupak sastavljanja detektora.

Danas su poznata tri načina pretvaranja eholokacijskog glasanja šišmiša u nama čujne zvukove:

1. Kombinacijom frekvencija (Heterodyne bat-detektori)
2. Vremenskim produživanjem (Time expansion bat-detektori)
3. Dijeljenjem frekvencija (Frequency division bat-detektori) [15].

4.1.1. Detektor šišmiša s kombinacijom frekvencija

Takav je detektor s najmanjim vremenskim produljenjem i njega najčešće koriste početnici. Ručno namještamo frekvenciju koju želimo čuti, a one su u rasponu od 18 do 126 kHz. Takav detektor radi na način da miješa ultrazvuke šišmiša s ultrazvukom koji sam detektor proizvede, zatim se dobije razlika, točnije, čujna frekvencija. Zvuk koji dobijemo moguće je snimiti raznim uređajima, no ne i obrađivati pomoću softvera. Oni su i cijenom najdostupniji, no imaju i uzak raspon frekvencija.

4.1.2. Detektor šišmiša s vremenskim produživanjem

Pomoću takvih detektora moguće je digitalno snimanje zvukova te njihovo usporavanje deset, dvadeset pa čak i trideset puta kako bi se taj isti zvuk mogao analizirati te se njegovom reprodukcijom mogu čuti i nekakvi detalji koji puno bržom izvedbom nisu bili izraženi. Takav detektor ima najbolju kvalitetu reprodukcije zvuka. On pokriva sve frekvencije kojima se šišmiši koriste, prikupljeni podaci snimaju se na specijalizirane medije i kasnije se nad njima provodi računalna analiza. No izrazito velik problem predstavlja višestruko viša cijena uređaja u usporedbi s drugim vrstama bat-detektora.

4.1.3. Detektor šišmiša s dijeljenjem frekvencija

Ova vrsta detektora idealna je za istraživanje i popularizaciju jer je jednostavan i jeftin za izradu, a radi na principu dijeljenja frekvencije s nekim brojem npr. deset (ukoliko je detektirana frekvencija od 50 kHz ona se dijeli s brojem 10 i emitira zvuk frekvencije 5 kHz što čovjek može čuti. Takva vrsta detektora radi u stvarnom vremenu i pokriva čitav raspon frekvencija, no njegov princip rada ne daje nam dovoljno dobre snimke te je teža naknada analiza.

4.2. Prikupljanje podataka bat-detektorom

Jedna od najčešćih metoda koju primjenjujemo kod prikupljanja podataka pomoću bat-detektora je metoda linijskog transekt. Linijski transekti podrazumijevaju da istraživač prati unaprijed određenu rutu, točno poznate dužine, dakle opažanje ili uzorkovanje duž poznate rute, a ovu metodu sam primijenila koristeći vlastiti bat-detektor na prostoru ZOO vrta u Osijeku tijekom ljeta 2018., zajedno sa studentima Odjela za biologiju, Sveučilišta u Osijeku.

4.3. Obrada podataka prikupljenih bat-detektorom

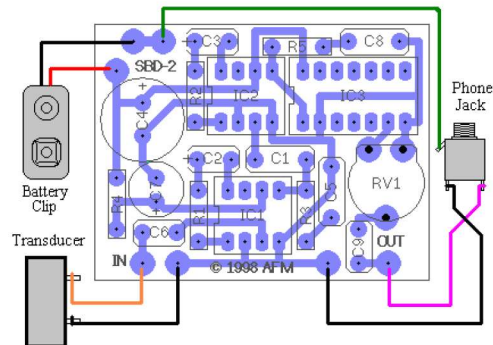
Ukoliko prikupimo zvukove nekim od prethodno navedenih bat-detektora iste možemo i analizirati pomoću računala i raznih softvera [15]. Najkorisniji je prikaz sonogram koji pokazuje vremensku ovisnost, zatim oscilogram koji prikazuju vezu varijacije amplituda i vremena. Moj detektor nema mogućnost pohrane niti obrade podataka.

4.4. Način izrade detektora šišmiša s dijeljenjem frekvencija

Slijedeći upute na web stranici te koristeći jednostavne električne komponente izradila sam detektor šišmiša s dijeljenjem frekvencija [16]. U ovom diplomskom radu odlučila sam opisati kako se može izraditi detektor šišmiša na vrlo jednostavan način, te sam imali priliku isti isprobati. ZOO vrt Osijek organizira već tradicionalnu manifestaciju Međunarodnu noć šišmiša, a održana

je u rujnu 2018. godine u vremenu od 19 do 22 sata. Sam program bio je bogat kreativnim radionicama te kvizom u kojem su sudjelovala djeca, a kako je to sve izgledalo zabilježila je Slavonska televizija [17].

Izradu detektora započela sam izradom tiskane pločice foto postupkom, a potom sam elektroničke komponente zalemila na nju. Ukratko ću opisati korišteni foto postupak. Najprije sam električnu shemu vodova, koju prenosim na tiskanu pločicu (Slika 25.), isprintala na prozirnu foliju više puta pa sam foliju izrezala i zalijepila na tiskanu pločicu.



Slika 25. Električna shema za tiskanu pločicu [16].

U ovoj fazi treba paziti na dobar otisak folije kako svjetlo ne bi prošlo i osvijetlilo jednoslojnu Vitroplast tiskanu pločicu gdje ne želim. Korištena tiskana pločica presvučena je slojem osjetljivim na ultraljubičasto svjetlo (UV). Ekspozicija UV svjetlošću (UV LED) traje oko 10 minuta, a potom se pločica uranja u razvijatelj (vodenu otopinu natrijevog hidroksida - 10 g NaOH na 1 litru vode). Kada se pojavio vidljivi otisak, pločicu sam stavila u vodenu otopinu klorovodične kiseline (35%) i vodikovog peroksida (30%) koji je izjetkao višak bakra te mi je tako ostala jednoslojna tiskana pločica s potrebnom električnom shemom (Slika 26.a). Bušilicom i tankim svrdlom izbušila sam rupe za elektroničke komponente koje sam zalemila prema spomenutoj električnoj shemi na Slici 25. Cijeli postupak izveden je u kućnim uvjetima jer na Odjelu za fiziku nemamo potreban pribor za izradu pločica, a i sam proces jetkanja je bilo jednostavnije izvesti kod kuće zbog određenog čekanja da se odradi proces. Isto tako, potrebno je dobro pripremiti shemu. Najvažnija komponenta detektora ultrazvučni je pretvarač te je važno obratiti pozornost na polaritet vodiča na samom pretvaraču kako bi dobila pravi rezultat pri korištenju detektora.

Osim ultrazvučnog pretvarača potrebni su bili:

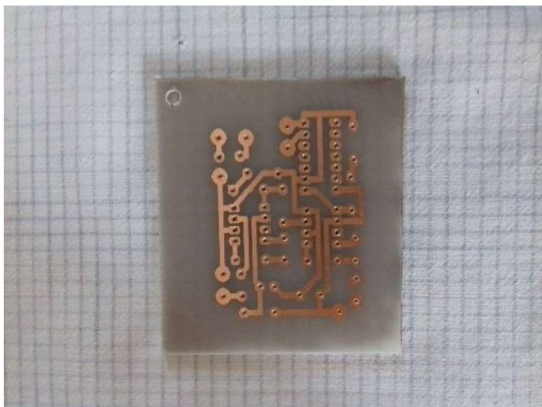
- Kondenzatori :

470 μ F, 16 V, elektrolitski kondenzator, 1 kom.

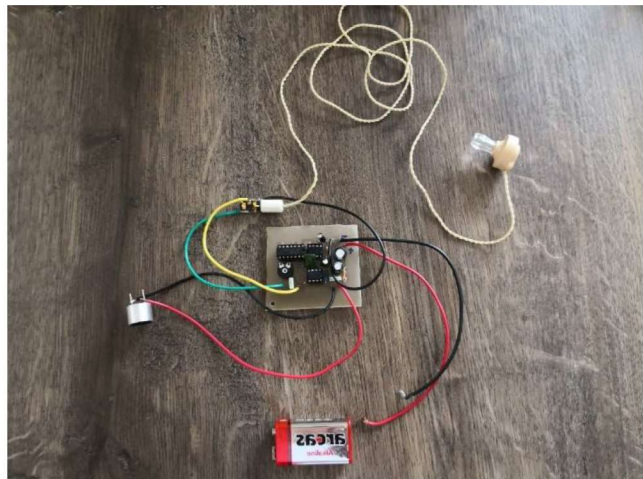
220 μ F, 16 V, elektrolitski kondenzator, 1 kom.

10 μ F, 25 V, elektrolitski kondenzator, 2 kom.

- 22 nF, 2 kom.
- 47 nF, 1 kom.
- Otpornici:
 - 150 Ω , 0,25 W, 1 kom.
 - 1K Ω , 0,25 W, 1 kom.
 - 220 Ω , 0,25 W, 1 kom.
- Trimer otpornik
- Integrirani krugovi
 - LM386N-1, 2 kom.
 - CD4024 – binarni brojač, 1 kom.
- Podnožja
 - DIL 8, 2 kom.
 - DIL 14, 1 kom.
- Potenciometar



Slika 26. a) Pločica sa shemom



Slika 26. b) Spojene komponente Bat detektora

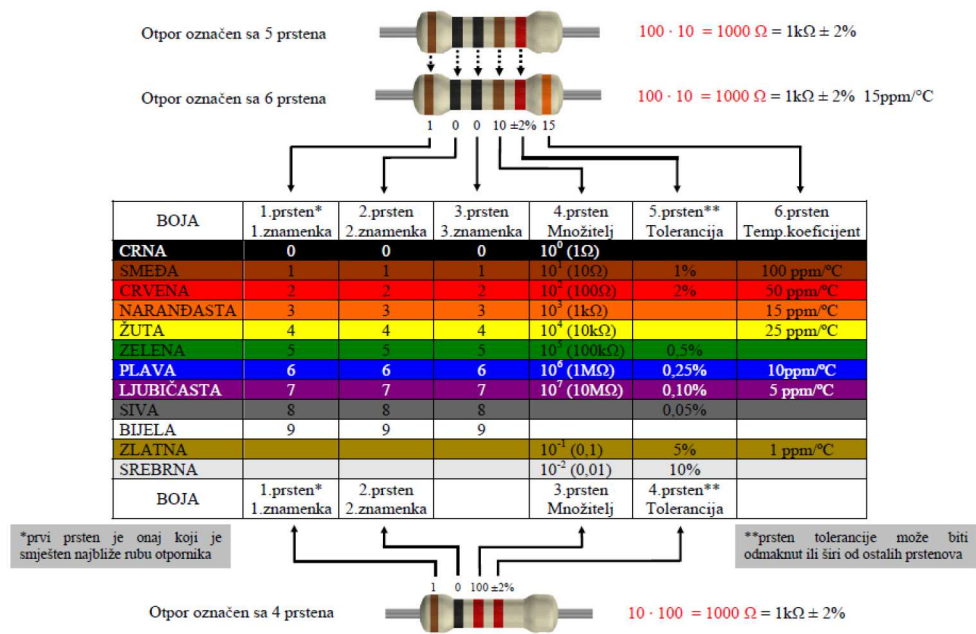
Zatim postavljam i lemim otpornike, njih mogu postaviti u oba smjera ne pazeći na polaritet. Otpornici su elementi koji, ukoliko na sebi ne nose brojnu oznaku, imaju četiri ili pet prstenova različitih boja, razlikujemo ih kako slijedi (a sve prema slikci 25):

$$R_1 = 150 \Omega \text{ (smeđe-zeleno-smeđe)}$$

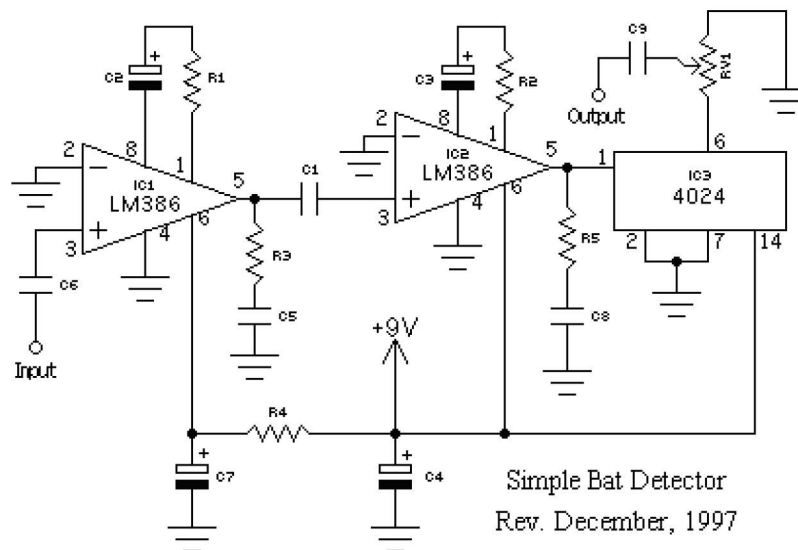
$$R_2 = 1K \Omega \text{ (smeđe-crno-crveno)}$$

$$R_4 = 220 \Omega \text{ (crveno-crveno-smeđe)}$$

OZNAČAVANJE OTPORNIKA BOJAMA



Slika 27. Tablica za čitanje vrijednosti otpornika [18].



Slika 28. Prikaz električne sheme za izradu bat-detektora [16].

Ono što sam na kraju mogla zapaziti jest da postoji prostor za komponente koje nisu postavljene, no njih niti ne koristim za izradu jednostavnog bat-detektora. Prije nego li počnem koristiti bat-detektor, potrebno je provjeriti stražnju stranu ploče, jesu li sve komponente dobro zalemljene i ima li spojeva između lemova komponenti. Kroz vrlo jednostavan postupak izrade i provjere uskoro je sve bilo spremno za moj prvi bat-detektor.

Kako bi bat-detektor izgledao kao pravi mali uređaj, cijelu pločicu zajedno s komponentama i baterijom od 9 V stavila sam u kutijicu. Sastavila sam sve do kraja i uključila slušalicu. Kako bi provjerila rad svog detektora mogla sam uređaj približiti izvoru ultrazvučne buke, npr. vode iz slavine. Ukoliko se čuje nekakav zvuk kao udarac u slušalici - detektor radi.

Osim što sam provjerila rad bat-detektora kod kuće, isto sam učinila i na događaju u organizaciji ZOO vrta Osijek. Međunarodna noć šišmiša organizira se unazad par godina zaredom u Osijeku i ondje svatko može pronaći nešto za sebe, počevši od onih najmlađih za koje je organizirana kreativna radionica na temu šišmiša pod vodstvom grupe studenata s Odjela za biologiju, do astronomskog sadržaja pod vodstvom predavača Igora Miklavčića u suradnji s ostalim studentima Odjela za fiziku. Meni najvažniji dio programa bila je potraga za šišmišima po stazi ZOO vrta Osijek, a ujedno i najzanimljivija jer se moj bat-detektor pokazao ispravnim u neposrednoj usporedbi s drugim kupovnim detektorima, koji su također bili upotrijebljeni na tom događaju.

U razgovoru sa studentima biologije koji su već izradili bat-detektor komentirala sam detektor iz vlastite izrade te smo ih usporedili, kako izgledom tako i funkcijama.

U razgovoru s glasnogovornicom ZOO vrta Osijek, dogovorila sam izradu nekoliko bat-detektora i donaciju istih upravo za ovakve događaje, kako bi djeci učinili još zanimljivijom i kreativnijom noć šišmiša. Detektore bi mogli izraditi studenti, u skoroj budućnosti, prema uzoru na moj bat-detektor, primjerice u nastavi elektronike ili na nekoj radionici jer njegova izrada traje svega par sati, a studenti bi na taj način mogli spojiti teoriju i praksu iz više nastavnih kolegija.

5. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme za pojam ultrazvuka čujemo vrlo često, no isto tako taj pojam najčešće vežemo za njegovu primjenu u medicini - ultrazvučna dijagnostika. Ultrazvuk se koristi u dijagnostičke i terapijske svrhe i, što je najvažnije, a mnogi toga nisu svjesni, ultrazvuk nije štetan kao ionizacijsko zračenje. Osim u medicini, ultrazvuk koristimo i u širokom spektru industrije, od vojne do opće.

Motivacija za pisanje ovog rada razvila se tijekom odrađivanja prakse i proučavanja literature na temu „Ultrazvuk“. Svako novo saznanje na tu temu, a i rezultat kod izvođenja eksperimentalnog dijela bili su dodatna motivacija. Želja za izradom vlastitog bat-detektora također je pridonijela odabiru teme. Kroz ovaj diplomski rad savladala sam metodu istraživanja kao važnu stavku za pisanje radova u budućnosti. Primijetila sam da je bitna dobra organizacija, prikupljeni materijal te stečeno znanje tijekom studiranja i provjerena literatura.

U prvom eksperimentalnom dijelu kao komplikaciju mogu navesti problem s aparaturom, gdje se pokazalo da ultrazvučni prijemnik, koji sam imala na raspolaganju, ne dohvaća dobro signale koje šalje ultrazvučna sonda, te da je kod tekućine kao što je glicerol (mjerjenja nisu obuhvaćena u ovom radu) ili NaCl, pravio probleme s prikazom i očitavanjem podataka s osciloskopa. Kako sam radila mjerjenja s destiliranom vodom, te jednom gušćom i jednom rjeđom tekućinom od destilirane vode, shvatila sam da za rjeđu tekućinu nisam imala takvih problema. Zaključila sam da je problem gustoća pa mjerjenja za glicerol, koji je znatno gušći od destilirane vode, nisam niti izvodila. Kada sam podatke uvrstila u tablicu te napravila graf za iste podatke, dobila sam dovoljno dobre rezultate da mogu izvesti zaključak kako fazna i grupna brzina ovise o vrsti tekućine kroz koji šaljemo ultrazvučne signale, iako su njihove vrijednosti skoro iste za pojedinu tekućinu.

Drugi, eksperimentalni dio, gdje sam promatrala kako brzina zvuka ovisi o promjeni temperature, bio je pak puno lakši. Zagrijala sam tekućinu grijačem uronjenim u istu te za svaku promjenu temperature očitala pomak i izračunala brzinu zvuka. Mogu zaključiti kako brzina ultrazvuka raste do određene temperature, što je u ovom eksperimentu oko 53 °C, a potom je brzina počela opadati što sam objasnila relacijom $v = \sqrt{\frac{1}{\rho\kappa}}$.

Spomenula sam kako je ultrazvuk vrlo važan i na području životinjskog svijeta, gdje sam isto pokazala izradom bat-detektora. Opisala sam postupak same izrade najjednostavnijeg detektora koji radi na principu pretvaranja eholokacijskih ultrazvučnih signala u one nama čujne zvukove.

6. LITERATURA

[1] Vrste informacija i njihova pretvorba

URL:<https://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Informacija.pdf> (23.01.2019.)

[2] Širenje zvuka- WordPress

URL:<https://simunic.files.wordpress.com/2014/01/c5a1irenje-zvuka.pdf> (23.01.2019.)

[3] Lesić, I.: „Vizualizacija akustičnih pojava“, Prirodoslovno- matematički fakultet, Fizički odsjek, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2006.

URL:http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_ivan_lesic.pdf

(14.01.2019.)

[4] Povijest fizike

URL:http://ahyco.uniri.hr/povijestfizike/stari_optika.htm (14.01.2019.)

[5] Povijest ultrazvučnih uređaja

URL:<http://www.ultrazvuk.hr/povijest-ultrazvucnih-uredaja/> (21.01.2019.)

[6] Applied Piezo, Piezoelectric effect

URL:<http://www.applied-piezo.com/about/piezoelectriceffect.php> (23.01.2019.)

[7] Kristalna struktura krutih tvari

URL:<http://www.osnovekemije.com/2018/07/12/kristalna-struktura-krutih-tvari/> (23.01.2019.)

[8] Paić, M. Gibanja, sile, valovi : udžbenik za studente Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Zagreb : Školska knjiga, 1997

[9] Titranje

URL: <http://kolegij.fizika.unios.hr/of1/files/2014/11/07-Titranje.pdf> (30.04.2019.)

[10] Andreis, T., Plavčić, M., Simić, N. „Fizika 3“, udžbenik za 3. razred gimnazije, PROFIL, Zagreb, 2006. (21.01.2019.)

[11] Fazna i grupna brzina ultrazvuka u tekućinama- upute za izvođenje pokusa

URL:https://www.nikhef.nl/~h73/kn1c/praktikum/phywe/LEP/Experim/1_5_11.pdf

(20.07.2017.)

[12] Operating Instructions- Generator

URL:<https://repository.curriculab.net/files/bedanl.pdf/13920.99/1392099e.pdf> (20.07.2017.)

[13] Ultrazvučni prijemnik -Pick up

URL: <https://www.phywe.com/en/ultrasonic-pickup.html> (20.07.2017.)

[14] Ovisnost brzine ultrazvuka o temperaturi- upute za izvođenje pokusa

URL:https://www.nikhef.nl/~h73/kn1c/praktikum/phywe/LEP/Experim/1_5_12.pdf

(20.07.2017.)

[15] Priručnik o šišmišima

URL:http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/publications/Prirucnici/Sismisi/Holcer-Sismisi_prirucnik.pdf (23.07.2018.)

[16] Sheme za izradu bat-detektora

URL:<http://home.earthlink.net/~bat-detector/SBD2.html> (23.07.2018.)

[17] Slavonska televizija- Noć šimiša

URL: <https://www.youtube.com/watch?v=deH4m6rNunA> (03.05.2019.)

[18] Tablica za čitanje vrijednosti otpornika

URL:<http://www.etsbi.edu.ba/stranice/download/resursi/dokumenti/Tablica%20ozna%C4%8Davanje%20otpornika.pdf>. (23.07.2018.)

7. ŽIVOTOPIS:

Martina Nemet rođena je 20. srpnja 1992. godine u Našicama. Završila je osnovnu školu "Vladimir Nazor" u Feričancima te 2007. godine upisuje Opću gimnaziju u Našicama. Nakon završetka gimnazije, 2011. godine upisuje Preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku i završava ga 2015. godine te dobiva titulu prvostupnice fizike. Iste godine upisuje Diplomski studij fizike i informatike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. U slobodno vrijeme volontira u udruzi „Prijateljstvo“ u Feričancima. Također, živi u Feričancima sa suprugom Zdenkom i sinom Lukom.

8. POPIS SLIKA I TABLICA:

Slika 1. Refleksija zvuka od zakrivljenih površina

Slika 2. Difrakcija ili ogib zvuka (<https://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Informacija.pdf>)

Slika 3. Točkasti izvor i sferno širenje zvuka u prostor

Slika 4. Piezoelektrični efekt

Slika 5. Kristal kvarca

Slika 6. a) Os simetrije NaCl b) Os simetrije kristala kvarca

Slika 7. Presjek kristala kremena ili kvarca

Slika 8. Ultrazvuk u tekućini

Slika 9. Jednostavan harmonijski oscilator

Slika 10. Transverzalni val

Slika 11. Longitudinalni val

Slika 12. Usporedba transverzalnog i longitudinalnog vala

Slika 13. Složena aparatura za izvođenje pokusa

Slika 14. Ultrazvučni generator

Slika 15. Ultrazvučni prijemnik -Pick up (<https://www.phywe.com/en/ultrasonic-pickup.html>)

Slika 16. Ultrazvučna sonda

Slika 17. Osciloskop I.

Slika 18. Ovisnost udaljenosti Δl o broju pomaka n za različite gustoće tekućina pri istoj frekvenciji

Slika 19. Ovisnost udaljenosti Δl o vremenskom kašnjenju Δt

Slika 20. Aparatura složena za drugi dio pokusa

Slika 21. Grijač s termometrom uronjen u kadicu

Slika 22. Pojava mjehurića pri temperaturi od 50°C

Slika 23. Brzina ultrazvuka u ovisnosti o temperaturi

Slika 24. Eholokacijom šišmiš detektira plijen

Slika 25. Električna shema za tiskanu pločicu

Slika 26. a) Pločica sa shemom b) Spojene komponente bat-detektora

Slika 27. Tablica za čitanje vrijednosti otpornika

Slika 28. Prikaz električne sheme za izradu bat-detektora

Tablica 1. Neki zvukovi i njihovi intenziteti

Tablica 2. Mjerenje fazne brzine ultrazvuka u tekućinama

Tablica 3. Izračun srednjih vrijednosti i račun nesigurnosti mjerenja fazne brzine

Tablica 4. Izračun grupne brzine za vodu

Tablica 5. Izračun srednje vrijednosti i račun nesigurnosti mjerenja grupne brzine

Tablica 6. Ovisnost brzine ultrazvuka o temperaturi pri frekvenciji ultrazvuka od 800kHz