

Ime i prezime _____ br.indeksa _____

Vežba br. 3

ODREĐIVANJE BRZINE ZVUKA U VAZDUHU

a) pomoću rezonancije vazdušnog stuba

b) pomoću Kundt-ove cevi

Mehanički talas javlja se u elastičnim sredinama kada se u njoj pobudi na oscilovanje jedna čestica (ili grupa čestica). Ovo oscilovanje prenosi se dalje na susedne čestice. Posledica takvog kretanja čestica tj.prenošenje oscilacija u prostoru i vremenu naziva se *talasno kretanje* ili *talas*, a mesto u kome započinje talasno kretanje *izvor talasa*.

U zavisnosti od pravca oscilovanja čestica, u odnosu na pravac prostiranja talasa, razlikujemo dve vrste talasa: *transverzalne* i *longitudinalne*. Kod transverzalnih talasa čestice sredine osciluju normalno na pravac prostiranja talasa, dok kod longitudinalnih osciluju u pravcu prostiranja talasa. Transverzalni talasi mogu se prostirati samo kroz tela u čvrstom agregatnom stanju, dok se longitudinalni mogu prostirati kroz sva tri agregatna stanja: gasovito, tečno i čvrsto.

Longitudinalni talasi čije su frekvencije u intervalu od 20 Hz do 20 000 Hz nazivaju se *zvučni talasi* (*zvuk*). Longitudinalni talasi frekvencije ispod 20 Hz nazivaju se *infraczvuk*, a sa frekvencijom iznad 20 000 Hz *ultrazvuk*.

Zvučni talas karakteriše se pored frekvencije, koja je uvek jednaka frekvenciji zvučnog izvora-oscilatora, i brzinom prostiranja kao i talasnom dužinom. *Talasna dužina* je najkraće rastojanje između dve čestice koje se nalaze u istoj fazi oscilovanja. Dok je frekvencija talasa u svim sredinama ista, njegova brzina je određena karakteristikama sredine kroz koju se talas prostire. Relacija koja daje vezu između talasne dužine, frekvencije i brzine talasa je:

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

Brzina zvuka u vazduhu zavisi od temperature:

$$c = c_0 \cdot \sqrt{1 + t / 273^\circ C} \quad (2)$$

gde je $c_0 = 331,5$ m/s brzina zvuka u vazduhu na temperaturi 0° C.

Kada se dva talasa iste talasne dužine i amplitude prostiru istim pravcem, ali suprotnim smerovima, javlja se poseban slučaj interferencije (slaganja) talasa i tada nastaje *stojeći talas*. Trbuh stojećeg talasa je mesto gde se oscilacije takva dva talasa maksimalno pojačavaju i daju maksimalnu amplitudu stojećeg talasa. Mesto gde se dva talasa maksimalno kompenzuju naziva se čvor stojećeg talasa. U idealnom slučaju u čvoru stojećeg talasa nema rezultujućih oscilacija. Duž stojećeg talasa naizmenično se ređaju čvorovi i trbusi. Rastojanje između dva susedna čvora jednako je polovini talasne dužine. Mesta gde se nalaze čvorovi i trbusi stojećeg talasa ostaju na istom mestu, odnosno ne menjaju svoj položaj u prostoru, pa se zato ovakav talas zove stojeći. U praksi se stojeći talas najlakše dobija kada se talas odbija od neke prepreke tako da se odbijeni i upadni talas kreću duž istog pravca, ali u suprotnim smerovima.



a) Rezonancija vazdušnog stuba

Vežba se zasniva na pojavi stojećeg talasa u vazdušnom stubu zatvorenom na jednom kraju. Ovo se realizuje plastičnom cevi uronjenom jednim krajem u sud sa vodom. Deo cevi iznad vode predstavlja takav vazdušni stub. Kada se iznad ovakvog stuba izazovu sopstvene oscilacije viljuške, čestice vazduha u vazdušnom stubu pobuđuju se na oscilovanje. Tako od otvorenog kraja cevi kreće longitudinalni talas, odbija se od površine vode kreće natrag istim pravcem. Kada je dužina vazdušnog stuba tj. od nivoa vode do slobodnog kraja cevi jednaka neparnom broju četvrtini talasne dužine zvučnog talasa, dolazi do formiranja stojećeg talasa unutar cevi. Formiranje stojećeg talasa praćeno je pojačanjem zvuka viljuške zbog pojave rezonancije (frekvencija zvučne viljuške i stojećeg talasa u cevi su jednake).

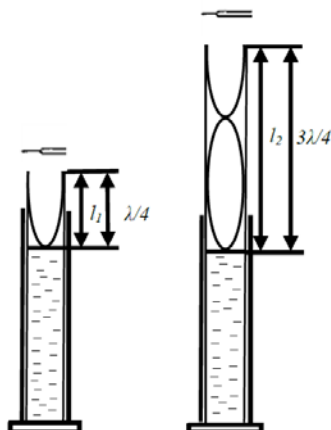
$$l_n = (2n - 1) \lambda / 4 \quad (3)$$

gde je l_n – dužina vazdušnog stuba tj. visina cevi iznad vode, $n = 1, 2, 3, \dots$, a λ – talasna dužina stojećeg zvučnog talasa.

Dakle stojeći talas će se obrazovati kao na sl. 1. Čvor stojećeg talasa uvek će se obrazovati na razdvojnoj površini voda-vazduh, amplituda oscilovanja čestica vazduha u toj tački jednaka je nuli. Maksimalnu amplitudu oscilovanja imaće čestice koje se nalaze na otvorenom kraju vazdušnog stuba (cevi) i tu se obrazuje trbuh stojećeg talasa.

a) Aparatura i postupak pri merenju

Sud sa vodom, plastična cev, dve zvučne viljuške ($v_1 = 1024 \text{ Hz}$ i $v_2 = 2048 \text{ Hz}$), gumeni čekić i metar.



Sl. 1

Gumenim čekićem se udara zvučna viljuška, pri čemu se izazovu oscilacije viljuške, a zatim se ona odmah nadnosi nad gornji kraj cevi koja je skoro cela potopljena u vodu. Cev se postepeno izvlači iz vode pri čemu se podiže i viljuška, tako da rastojanje viljuške od vrha cevi uvek iznosi 1 – 2 cm. Kada nastupi rezonancija (što se manifestuje pojačanjem zvuka), cev se zaustavi u tom položaju i izmeri visina cevi iznad vode (od nivoa vode do otvora cevi) Sl.1. Na ovaj način izmerena je visina l_1 . Zatim se nastavlja sa izvlačenjem cevi do pojave sledeće rezonancije kada se meri l_2 . Postupak se ponavlja tri puta za istu viljušku. Zatim ponoviti identičan postupak za drugu viljušku. Dobijene vrednosti upisati u tabelu 1.

$v_1 = 1024 \text{ Hz}$						
Redni br. mer.	l_1 (m)	l_2 (m)	$\lambda=2(l_2-l_1)$ (m)	c (m/s)	c_{sr} (m/s)	Δc (m/s)
1						
2						
3						
$v_2 = 2048 \text{ Hz}$						
1						
2						
3						

Tabela 1

b) Kundt-ova cev

Kundt-ova cev koristi se za određivanje brzine zvuka u vazduhu merenjem talasne dužine pri poznatoj frekvenciji zvučnog talasa. Merenje je zasnovano na pojavi stojećeg talasa u vazдушnom stubu.

Kundt-ova cev (1) je providna (staklena) cev, dužine 80 cm i prečnika 5cm, ispunjena vazduhom. Jedan kraj cevi zatvoren je čepom u koji je ugrađen zvučnik (2). Na drugom kraju cevi nalazi se pokretni klip (3) čijim se pomeranjem može menjati dužina vazdušnog stuba u cevi (L_n). U klipu se nalazi mikrofonski senzor kojim se meri/registruje intenzitet zvuka na različitim rastojanjima od zvučnika. Zvučnik pobuđuje čestice vazduha u Kundtovoju cevi na oscilovanje duž ose cevi. Tako nastaje longitudinalni zvučni talas koji kreće ka pokretnom klipu i reflektuje se od njega. Ovim je ostvarena mogućnost da se u vazдушnom stubu obrazuje stojeći talas. Uslov za formiranje stojećeg talasa u ovakvom vazдушnom stubu (zatvorenom na oba kraja) je:

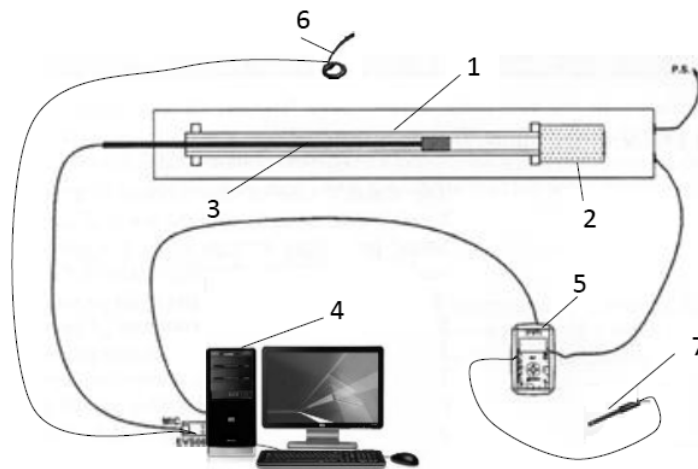
$$L_n = n \lambda / 2 \quad (4)$$

(gde je $n = 1, 2, 3, \dots$; a $\lambda/2$ rastojanje između dva susedna čvora).

Formiranje stojećeg talasa manifestuje se pojačanjem intenziteta zvuka usled pojave rezonancije.

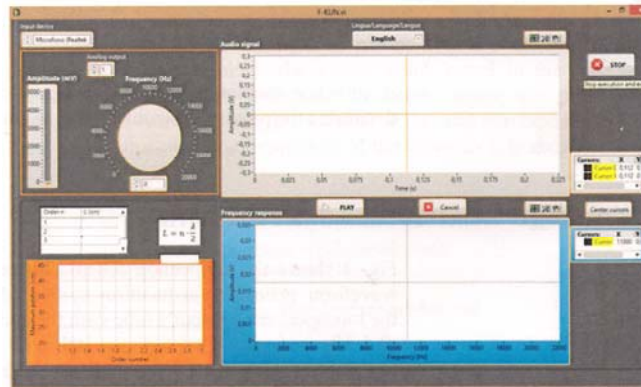
b) Aparatura

Na slici 2 je prikazana kompletna aparatura: Kundt-ova cev (1), PC (4) + datalogger (5), sonda za merenje temperature (7) kao i način povezivanja.



Sl. 2

Softverom se preko računara generise električni signal u datalogger-u koji se preko analognog izlaza 1 šalje na zvučnik u Kundt-ovoj cevi. Mikrofon u sklopu pokretnog klipa povezan je sa računarom preko USB interfejsa na koji je priključen i mikrofon (EVS-08) (6). Softver omogućava prikazivanje zvučnog signala koji registruju oba mikrofona.



Sl. 3

b) Postupak pri merenju

Klikom na ikonu F-KUN na monitoru se pojavljuje grafički korisnički interfejs (Sl. 3). U gornjem levom uglu dati su parametri signala koji se šalje na zvučnik (amplituda i frekvencija). Klikom na „PLAY“ startuje/počinje prikupljanje podataka o zvučnom signalu registrovanom u mikروفonima što se grafički prikazuje na monitoru-desno (amplituda u f-ji vremena i amplituda u f-ji frekvencije).

Merenje se vrši tako što se izaberu frekvencija i amplituda zvučnog signala. Klip se postavi što bliže zvučniku, a zatim postepeno udaljava od njega. U momentu kada dođe do pojačanja zvuka klip se zaustavlja i meri dužina vazdušnog stuba L_n (rastojanje između klipa i zvučnika). Tada se na grafiku vidi povećanje amplitude signala. Merenje se ponavlja pri svakom sledećem položaju klipa pri kome dolazi do pojačanja zvuka, sve dok klip ne dođe do krajnjeg položaja (≈ 75 cm). Vrednosti izmerenih dužina L_n se upisuju u odgovarajuću tabelu (u donjem levom uglu ekrana). Softver omogućava da se interpolacijom eksperimentalnih tačaka nacrtava prava na grafiku $L_n = f(n)$ i odredi njen nagib (vrednost s /slope/ pojaviće se na gornjoj ivici grafika). Nagib prave jednak je polovini talasne dužine, tako da je moguće odrediti talasnu dužinu $\lambda = 2s$. Kako je frekvencija signala poznata brzina zvuka u vazdušnom stubu izračunava se na osnovu formule:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Klikom na dugme „PLAY“ prekida se prijem zvučnog signala, dok dugme „CANCEL“ služi da se ponište podaci u tabeli i na grafiku i time započne sledeći ciklus merenja.

Merenja izvršiti za tri različite frekvencije $\nu_1=1000$ Hz , $\nu_2=1500$ Hz i $\nu_3=2000$ Hz, a rezultate upisati u tabelu 2.

Red.br. mer.	ν (Hz)	s (m)	$\lambda = 2s$ (m)	c (m/s)	c_{sr} (m/s)	Δc (m/s)
1						
2						
3						

Tabela 2

Provera

Na kraju vežbe treba očitati temperaturu u laboratoriji i izračunati tačnu vrednost brzine zvuka:

$$c = c_0 \cdot \sqrt{1 + t / 273} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Očitavanje temperature omogućava program EvLAB Workspace. Klikom na ikonu pojavljuje se kolona na levoj strani ekrana *Resources View*. Daljim biranjem *Internal sensors > Temperature* na ekranu će se pojaviti vrednost temperature (u $^\circ\text{C}$).

$t =$ _____

$c =$ _____.