



Mjerenje brzine longitudinalnog vala u zraku pomoću kamere

Jakov Labor¹

Brzina (v) po definiciji je kvocijent puta (Δs) i pripadajućeg vremenskog intervala (Δt)

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Za određivanje iznosa brzine pomoću ovog izraza potrebno je izmjeriti prijeđeni put i vrijeme. Kada je vremenski interval malen i ne možemo ga mjeriti zapornim satom, može nam poslužiti kamera velike brzine snimanja. U pokusima koje ćemo opisati upotrijebljena je kamera koja snima 1000 slika u sekundi. Zapravo je riječ o digitalnom fotografskom aparatu marke CASIO i naziva EXILIM, HS EX-ZR200 kupljenog u Zagrebu za 2290 kn.

Mjerenje brzine longitudinalnog vala u zraku

U *Matematičko-fizičkom listu 1/249, 2012./2013., str. 25* izveden je izraz za brzinu zvuka u plinu

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}}, \quad (1)$$

gdje je v_0 brzina zvuka pri 0°C , a t temperatura iskazana u $^\circ\text{C}$. U istom je članku izveden i izraz za brzinu zvuka pri temperaturi 0°C

$$v_0 = \sqrt{\frac{273.15 \kappa R}{M}}, \quad (2)$$

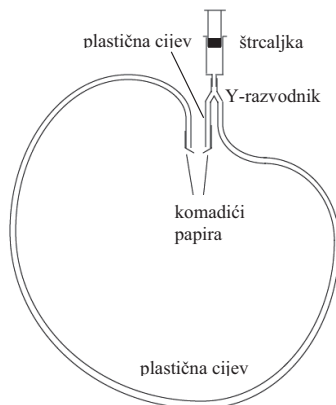
gdje je κ adijabatski koeficijent, R ($= 8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$) opća plinska konstanta i M molarna masa plina. Za zrak je $\kappa = 1.4$, $M = 0.029 \text{ kg mol}^{-1}$, a $v_0 = 331.1 \text{ ms}^{-1}$, tako da izraz za brzinu zvuka u zraku možemo pisati u obliku

$$v = 331.1 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}} \text{ ms}^{-1}. \quad (3)$$

Zvuk obuhvaća longitudinalne valove određenih frekvencija (od 20 Hz do 20 kHz), ali izvedeni izrazi vrijede i za ostale longitudinalne valove, uključujući i pulsni val koji nastaje prenošenjem jednokratnog poremećaja (pulsa). Izraz za brzinu longitudinalnog vala u zraku možemo provjeriti pomoću uređaja pojednostavnjeno prikazanog na slici 1. Štrcaljka od 60 ml obučena je hvataljkom koja je učvršćena za stalak. Krajevi plastičnih cijevi uvučeni su u Y-razvodnik kakav se upotrebljava u vodovodnim

¹ Autor je profesor savjetnik u Gimnaziji Antuna Vrančića u Šibeniku.

instalacijama u kućanstvu. Iznad komadića papira nalazi se kamera i žarulja priključena na izvor istosmjerne struje. Osvjetlimo komadiće papira, uključimo kameru i naglo (udarcem dlanom) utisnemo klip štrcaljke. Kameru i osvjetljenje nakon toga isključimo. Utiskivanjem klipa nastao je longitudinalni poremećaj u obliku zgušnjenja zraka. Zgušnjenje se prenosi kroz cijevi i prvo će doći do kraja kraće cijevi te pomaknuti papir koji se tamo nalazi, a nešto kasnije i do kraja dulje plastične cijevi, gdje će pomaknuti drugi komadić papira.

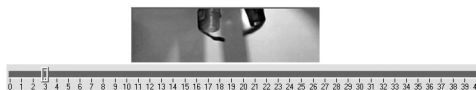


Slika 1.

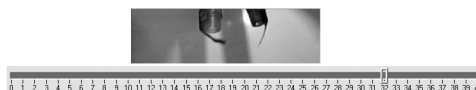
Snimku iz kamere prenesemo u računalo i otvorimo u programu Virtual Dub. Odrežemo dio slika prije pomicanja papira na kraju kraće cijevi i dio onih nakon pomicanja papira na kraju dulje cijevi. Pregledavanjem snimke sliku po sliku, na vremenskoj ljestvici možemo očitati vremenske trenutke u kojima su se pomakli komadići papira. Papir na kraju kraće cijevi pomaknuo se u trenutku $t_1 = \frac{3}{1000}$ s (slika 2), a na kraju dulje cijevi u trenutku $t_2 = \frac{32}{1000}$ s (slika 3). Vremenski razmak između ta dva događaja iznosi $\Delta t = 0.029$ s. Za to je vrijeme longitudinalni poremećaj izazvan utiskivanjem klipa prešao put jednak razlici duljina cijevi (Δs), koja u ovom pokusu iznosi 10 m. Iz izmjerenih veličina možemo izračunati brzinu širenja longitudinalnog poremećaja, tj. brzinu longitudinalnog vala

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10 \text{ m}}{0.029 \text{ s}} = 345 \text{ ms}^{-1}.$$

Rezultat se dobro slaže s teorijskom vrijednošću dobivenom pomoću izraza (3).



Slika 2.



Slika 3.

Kamerom upotrijebljenom u ovom pokusu možemo snimati i druge brze procese te sa snimke uzimati potrebne podatke. Tako, primjerice, možemo izmjeriti frekvenciju izmjenične struje. Dovoljno je kratko vrijeme uključiti kameru u prostoriji osvijetljenoj izmjeničnom strujom i nakon toga pregledati snimku u Virtual Dubu. Osvjetljenost se sličica unutar snimke mijenja u skladu s promjenama izmjenične struje (slika 4). Uočimo na slici 4 da su sličice koje se nalaze na 4. i 14. mjestu najtamnije, što znači da je vrijeme između dvaju minimalnih osvjetljenja

$$\Delta t = \frac{10}{1000} \text{ s} = 0.01 \text{ s.}$$



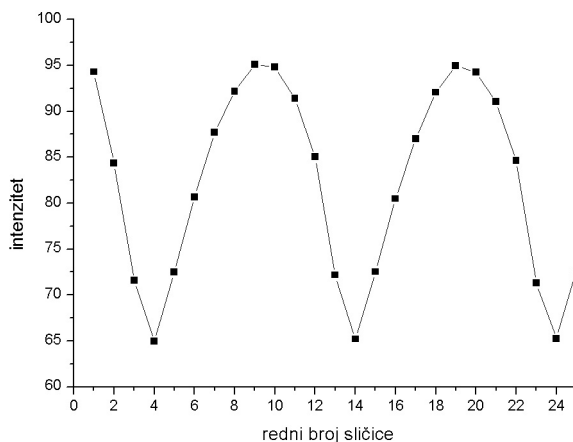
Slika 4.

Za to vrijeme jakost se struje poveća od nule do maksimalne vrijednosti i smanji na nulu, pa je ono jednako polovini perioda izmjenične struje. Period je dvostruko dulji i iznosi 0.02 s, a frekvencija

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} \text{ s} = 50 \text{ Hz.}$$

U pokusu određivanja brzine longitudinalnog vala promjena osvijetljenosti bila bi nepoželjna jer bi otežavala uzimanje podataka sa snimke. Zbog toga je za osvjetljavanje upotrijebljena istosmjerna struja.

Osim vizualne usporedbe sličica, program za obradu slike može numerički odrediti osvijetljenost za svaku sličicu posebno. Za ukupan snimljeni slijed za zelenu boju to izgleda ovako (intenzitet je prosječna vrijednost G , RGB (red, green, blue) vrijednosti za svaku sličicu):



Slika 5.

Crvena i plava komponenta pokazuju također periodičnu promjenu, ali ponešto različitu u obliku, amplitudi i fazi.