

1 Kundtova cev

NALOGA

Izmeri hitrost zvoka v aluminiju in iz nje določi prožnostni modul aluminija.

RAZLAGA

V trdnih snoveh se lahko razširja longitudinalno in transversalno valovanje. Hitrost razširjanja valovanja je odvisna od vrste valovanja, od gostote snovi in od njenih elastičnih lastnosti. V plinih se lahko razširja samo longitudinalno valovanje. Longitudinalno valovanje s frekvencami v območju med 16 Hz in 20 kHz imenujemo zvok in ga zaznamo z ušesi.

Hitrost razširjanja zvoka v trdnih snoveh je povezana z gostoto (ρ_{tr}) in s prožnostnim modulom (E) snovi:

$$c_{tr} = \sqrt{\frac{E}{\rho_{tr}}} . \quad (1.1)$$

Za hitrost razširjanja zvoka v plinih v splošnem velja zveza:

$$c_{pl} = \sqrt{\frac{1}{\rho_{pl}\chi_a}} = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho_{pl}}} = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}} = c_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} , \quad (1.2)$$

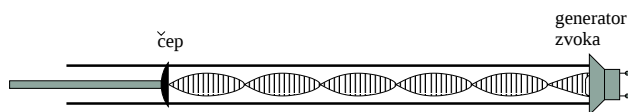
kjer sta p in ρ_{pl} tlak in gostota plina, χ_a je adiabatna stisljivost, $\kappa = c_p/c_V$ je razmerje specifičnih toplot plina, M pa kilomolska masa plina. T je temperatura plina v Kelvinih, $T_0 = 273,15$ K. Če za hitrost zvoka v plinu pri temperaturi $T_0 = 0^\circ\text{C}$ vstavimo $c_0 = 331,5$ m/s, za hitrost razširjanja zvoka v zraku pri temperaturi T dobimo naslednji izraz:

$$c_{zr} = 331,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_0}} . \quad (1.3)$$

Poglejmo še, kaj se z zvočnim valovanjem zgodi pri prehodu iz enega sredstva v drugo. Frekvenca valovanja se pri tem ne spremeni ($\nu = \nu_1 = \nu_2$), zato pa je drugačna hitrost razširjanja valovanja c in s tem valovna dolžina $\lambda = c/\nu$. Valovni dolžini v obeh sredstvih lahko povežemo med sabo, če upoštevamo ohranitev frekvence pri prehodu:

$$\lambda_2 = \frac{c_2}{\nu_2} = \frac{c_2}{\nu_1} = \frac{c_2}{c_1} \lambda_1 , \quad (1.4)$$

pri čemer z indeksoma 1 in 2 označimo količine v prvem in drugem sredstvu. Valovno dolžino zvočnega valovanja v plinih lahko izmerimo s Kundtovo cevjo. Generator zvoka vzbudi v plinu, ki je v zaprti stekleni cevi, stoječe zvočno valovanje, kot prikazuje slika 1.1. Po cevi je raztresen plutovinast prah, ki močno



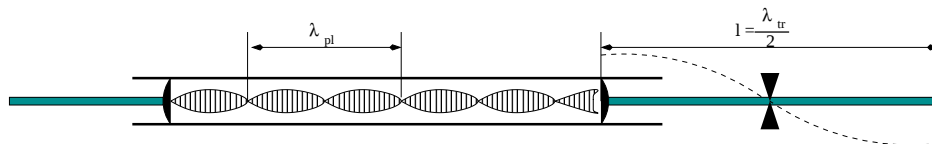
Slika 1.1: Kundtova cev je steklena cev s plinom in plutovinastim prahom. Cev je na enem koncu zaprta s čepom, na drugem koncu je nameščen generator zvoka. Za primer na sliki je razdalja med generatorjem zvoka in čepom na koncu enaka $\frac{11}{4}\lambda$.

poskakuje na mestih, kjer so hrbti stoječega valovanja, in miruje tam, kjer ima stoječe valovanje vozle. Če je razdalja med generatorjem zvoka in zaprtim koncem cevi enaka lihemu mnogokratniku četrtnine valovne dolžine (sliki 1.1 in 1.2), je slika jasno izražena. V tem primeru je frekvenca generatorja zvoka enaka eni izmed lastnih frekvenc valovanja zraka v cevi.

Za generator zvoka lahko uporabimo palico, ki je vpeta v sredini. Na koncu palice, ki sega v Kundtovo cev, je pritrjena ploščica z nekoliko manjšim premerom, kot je premer cevi. V palici vzbudimo stoječe valovanje (lastno nihanje), tako da jo s krpo podrgnemo v vzdolžni smeri. Ker je palica v sredini vpeta, je tam vozle valovanja, na obeh koncih pa sta hrbta. V splošnem je lahko med sredino in koncem palice še več vozlov valovanja, vendar pa je dolžina palice vselej enaka lihemu mnogokratniku polovice valovne dolžine. Če palico rahlo drgnemo po zadnji četrtni v smeri proti koncu, pa v resnici vzbudimo pretežno le valovanje z najnižjo lastno frekvenco. Dolžina palice l je tedaj enaka polovici valovne dolžine tega valovanja:

$$l = \frac{\lambda_{tr}}{2}, \quad (1.5)$$

saj je v sredini palice edini vozle (glej sliko 1.2). Frekvenca valovanja v palici je



Slika 1.2: Kundtova cev s kovinsko palico kot generatorjem zvoka (na desni). Označeni sta tudi valovni dolžini zvoka v palici in zraku.

tedaj:

$$\nu = \frac{c_{tr}}{\lambda_{tr}} = \frac{c_{tr}}{2l}, \quad (1.6)$$

če je c_{tr} hitrost zvoka v palici. Stoječe zvočno valovanje, ki ga nihanje konca palice s ploščico vzbudi v zraku, ima isto frekvenco. Ker zvočno hitrost c_{zr} v

zraku poznamo (enačba (1.3)), lahko izračunamo hitrost zvoka v palici:

$$c_{tr} = \frac{\lambda_{tr}}{\lambda_{zr}} c_{zr} . \quad (1.7)$$

Iz zveze (1.1), ki podaja hitrost zvoka v dolgi prožni palici, lahko izračunamo še prožnostni modul E , če poznamo gostoto snovi, iz katere je palica.

NAVODILO

S krpo, na katero si natresel nekaj zrn smole, enakomerno in ne premočno drgni palico po zadnji četrtini, tako da krpo vlečeš v smeri proti koncu palice. Na ta način v palici vzbudiš valovanje s pretežno osnovno frekvenco. S premičnim batom uglašuj cev, dokler ne slišiš najglasnejšega tona. Takrat prah najmočneje poskakuje. Izmeri povprečno razdaljo d med sosednjima vozlova ter določi napako izmerjene količine. Izmeri še temperaturo zraka in na barometru odčitaj zračni tlak. Iz zgornjih enačb izračunaj hitrost zvoka v aluminiju in prožnostni modul aluminija, oceni pa tudi mersko napako obeh količin. (Gostota aluminija je 2700 kg/m^3 .)