

## 4 Ultrazvok

*Pri tej vaji se bomo seznanili z osnovnimi značilnostmi ultrazvoka in njegove uporabe v medicini.*

S človeškim ušesom lahko zaznamo zvok s frekvencami od približno 16 Hz do 20 kHz. Zvok, ki ima višje frekvence in je človeškemu ušesu neslišen, imenujemo *ultrazvok*. Zaradi svoje visoke frekvence in zato majhne valovne dolžine se ultrazvok uklanja manj od slišnega zvoka in ga je mogoče dobro usmerjati.

### 4.1 Osnovne lastnosti zvoka in ultrazvoka

Zvok se po prostoru prenaša kot nihanje snovi in zato po vakuumu ne more potovati. Pri zvočnem valovanju v plinih in kapljevinah je nihanje le v smeri potovanja zvoka, zato je tam zvočno valovanje vzdolžno (longitudinalno). Valovna dolžina ( $\lambda$ ), frekvenca ( $\nu$ ) in hitrost ( $c$ ) zvočnega valovanja so povezane z znano zvezo

$$\lambda = \frac{c}{\nu} . \quad (4.1)$$

Hitrost zvoka v snovi je v splošnem odvisna od njene gostote ( $\rho$ ) in stisljivosti ( $\chi$ ) po naslednji enačbi:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho\chi}} . \quad (4.2)$$

Stisljivost trdnih snovi in tekočin je zelo majhna, zato je hitrost zvoka v njih ponavadi velika. V zraku, ki je praktično idealni plin, se zgornja zveza poenostavi, saj sta gostota in stisljivost idealnih plinov med seboj povezani. Stisljivost idealnega plina pri hitrem (adiabatnem\*) stiskanju je  $\chi = 1/\kappa p$ , kjer  $p$  tlak plina,  $\kappa$  pa je razmerje specifičnih toplot pri konstantnem tlaku in konstantni prostornini  $c_p/c_v$ . Pri zraku, ki je sestavljen v glavnem iz dvo+atomnih plinov, je razmerje specifičnih toplot enako  $\kappa = 1,4$ . Ob upoštevanju splošne plinske enačbe  $pV = (m/M)RT$  in zveze za gostoto  $\rho = m/V$  dobimo

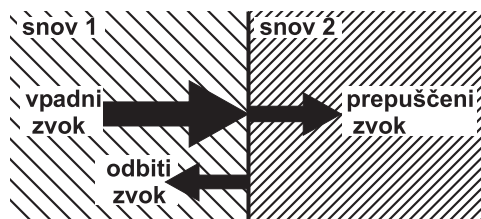
$$c = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}} , \quad (4.3)$$

kjer je  $R$  plinska konstanta,  $M$  molekulska masa plina,  $T$  pa temperatura. Vidimo, da se hitrost zvoka v plinih spreminja s temperaturo.

Ko zvočno valovanje prehaja med snovmi, se na meji med njimi delno odbija (slika 4.1). Odboj na meji je tem večji, čimbolj se snovi razlikujeta po akustični impendanci (tabela 4.1). Akustična impedanca je produkt gostote snovi in hitrosti zvoka v snovi ( $Z = \rho c$ , enota Rayl; 1 Rayl = 1 kg/m<sup>2</sup>s). Ultrazvok se tako delno odbija na mejah organov v človekovem telesu. Ta pojav je uporaben pri ultrazvočnih preiskavah, kjer je mogoče s pomočjo signalov, ki se odbijajo od tkiv, določiti lego in velikost organov v notranjosti telesa.

---

\*Stiskanje in razpenjanje zraka pri zvočnem valovanju je adiabatni proces, saj se zgoščine in razredčine zraka menjavajo hitro in med njimi praktično ni prehajanja toplote.



Slika 4.1: Odboj ultrazvoka pri prehodu med dvema snovema. Del zvoka nadaljuje pot, ostali del pa se odbije. Odboj je tem večji, čimbolj se snovi razlikujeta po akustični impendanci (hitrosti zvoka in gostoti).

Tabela 4.1: Hitrost zvoka, gostota in akustična impendanca nekaterih snovi.

snov	$c$ [m/s]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$Z$ [MRayl]
zrak (20° C)	344	1,18	0,0004
voda	1497	1000	1,50
koža	1540	1110	1,71
maščoba	1478	950	1,4
mišica	1547	1050	1,62
kita	1670	1100	1,84
kri	1584	1060	1,68
žila	1571	1160	1,82
zdrava jetra	1588	1060	1,68
bolna jetra	1527	1050	1,60
kost	4080	1900	7,75

## 4.2 Dopplerjev pojav

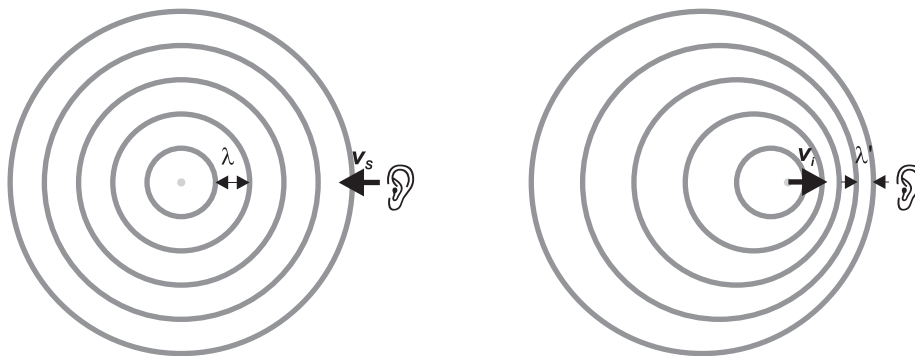
Če se izvor ali sprejemnik valovanja gibljeta glede na snov, po kateri se širi zvok, sprejemnik ne zazna enake frekvenca, kot jo oddaja izvor. Pojav se imenuje Dopplerjev pojav in je shematično prikazan na sliki 4.2.

Leva slika prikazuje primer, ko izvor valovanja miruje, sprejemnik pa se mu približuje s hitrostjo  $v_s$ . Izvor oddaja valovanje s frekvenco  $\nu$ , valovi se širijo enakomerno stran od izvora s hitrostjo  $c$  in valovno dolžino  $\lambda$ . Ker se sprejemnik giblje proti smeri valovanja, zaznava navidezno večjo hitrost valovanja  $c' = c + v_s$ , zaznana valovna dolžina valovanja pa se ne spremeni. Frekvenca, ki jo zaznava sprejemnik je tako

$$\nu' = \frac{c'}{\lambda} = \frac{c + v_s}{\lambda} = \nu \left( 1 + \frac{v_s}{c} \right), \quad (4.4)$$

in je višja od oddane frekvenca. V primeru, ko se sprejemnik oddaljuje od izvora, je hitrost  $v_s$  negativna in je frekvenca, ki jo zazna sprejemnik, nižja od oddane.

Desna slika prikazuje primer, ko sprejemnik miruje, izvor valovanja pa se približuje s hitrostjo  $v_i$ . V tem primeru sprejemnik zaznava nespremenjeno hitrost valovanja in



Slika 4.2: *Levo: izvor valovanja miruje, sprejemnik se premika s hitrostjo  $v_s$ . Desno: sprejemnik miruje, izvor valovanja pa se premika s hitrostjo  $v_i$ .*

zmanjšano valovno dolžino  $\lambda'$ , zato bo zaznana frekvenca višja od frekvence izvora. Zmanjšanje valovne dolžine je enako razdalji, ki jo prepotuje izvor v eni periodi valovanja. Premik izvora valovanja v eni periodi je  $L = v_i \tau = \frac{v_i}{\nu} = \frac{v_i}{c} \lambda$ , zato je frekvenca, ki jo zazna sprejemnik enaka:

$$\nu' = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\lambda - L} = \frac{c}{\lambda - \frac{v_i}{c} \lambda} = \nu \frac{1}{1 - \frac{v_i}{c}}, \quad (4.5)$$

Vrednost faktorja  $\frac{1}{(1-v_i/c)}$  je večja od 1, zato je zaznana frekvenca  $\nu'$  večja od oddane frekvence  $\nu$ . V primeru, ko pa se izvor oddaljuje od sprejemnika, ima  $v_i$  negativno vrednost in je zaznana frekvenca manjša od frekvence izvora.

Hitrosti gibanja so pogosto majhne v primerjavi s hitrostjo valovanja,  $\frac{v}{c} \ll 1$ . V takih primerih lahko uporabimo binomski razvoj, za katerega pri majhnih vrednostih  $x$  velja:  $(1 \pm x)^m \approx 1 \pm mx$ . Enačba 4.5 se tako poenostavi  $\nu' = \nu(1 + v_i/c)$ , kar je enako kot v primeru, ko se oddaljuje sprejemnik in izvor miruje. Pri majhnih hitrostih torej ni razlike med gibanjem izvora in sprejemnika, zato lahko spremembo frekvence zaradi Dopplerjevega pojava zapišemo preprosto kot:

$$\nu' = \nu \left( 1 \pm \frac{v}{c} \right), \quad (4.6)$$

kjer je  $v$  relativna hitrost med izvorom in sprejemnikom in pozitivni predznak velja za približevanje. Zaznana frekvenca se torej poveča, če se izvor in sprejemnik približujeta in zmanjša, če se izvor in sprejemnik oddaljujeta. Če je medsebojna hitrost izvora in sprejemnika enaka 1% hitrosti zvoka, se bo tudi zaznana frekvenca spremenila za 1%.

### 4.3 Izvori in detektorji ultrazvoka

Navadni zvočniki in mikrofoni v splošnem niso primerni kot izvori oziroma detektorji ultrazvoka. V ta namen se največkrat uporabljajo piezoelektrični kristali. To so kristali, na katerih se ob majhnem mehanskem stiskanju ali raztegovanju pojavi električna napetost. Zvočno valovanje, ki pada na piezoelektrični kristal, povzroči izmenično stiskanje in raztezanje kristala in na kristalu se pojavi električni signal enake frekvence, kot je frekvenca

vpadnega ultrazvoka. Pojav obstaja tudi v obratni smeri: ko piezoelektrični kristal priključimo na izmenično napetost, se začne izmenično raztezati in stiskati s frekvenco, ki je enaka frekvenci izmenične napetosti. Nihanje kristala se prenese na okoliško snov in kristal s tem oddaja ultrazvočno valovanje.

## 4.4 Uporaba ultrazvoka v medicini

Najbolj pogosta ultrazvočna tehnika v medicini je ultrazvočno slikanje (imenujemo jo tudi *ehografija* oz. *sonografija*). Pri tej metodi uporabljamo ultrazvok šibke jakosti s frekvenco nekaj MHz. S pomočjo sonde v telo usmerimo ultrazvočne sunke, ki se odbijajo na mejah med tkivi. Odboje zazna ista sonda; meri jakost odbojev in čas od oddanega sunka do odbojev.

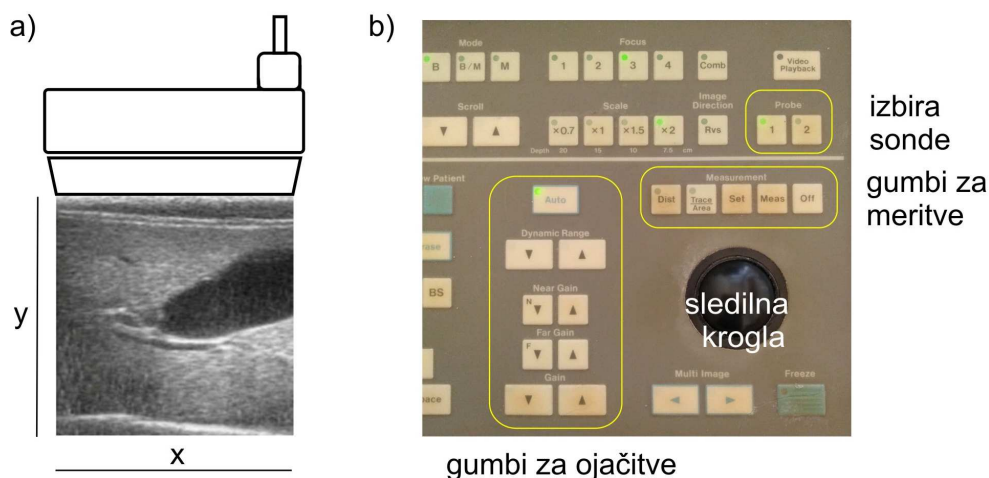
S prvimi napravami, ki so imele v sondi le en oddajnik, so lahko izmerili le jakost odbojev v odvisnosti od časa. Jakost odbojev so prikazale kot višino (amplitudo) signala v odvisnosti od prepotovane razdalje. Če sondo sestavlja veliko oddajnikov, lahko naenkrat posnamemo celoten prerez - dvodimenzionalno sliko (kot bi en oddajnik premikali v smeri sonde). Jakost odboja je prikazana s svetlostjo pike (angl. brightness). Glede na običajen način prikaza sta se uveljavili imeni amplitudni način (A-mode) za enodimenzionalni in svetlostni (B(rightness)-mode) za dvodimenzionalni ultrazvok. V kliniki se večinoma uporablja dvodimenzionalno slikanje, amplitudni način pa le, kadar natančno merijo določeno razdaljo, npr. v oftamologiji za določanje dolžine zrkla. Prostorsko sliko dobimo s premikanjem sonde pravokotno na ravnino slike. Izkušeni operaterji prostorsko sliko kar "vidijo", ko opazujejo spreminjanje slike ob premikaju/nagibanju sonde. Če pa tako sliko sestavi naprava, pa govorimo o 3D ultrazvoku. Namesto premikanja oziroma nagibanja linearne sonde, ki je lahko avtomatsko, se lahko uporablja tudi ploskovna sonda.

Z ultrazvokom je možno enostavno slikati na primer organe v trebušni votlini, težje (a ne nemogoče!) pa je slikati skozi kosti ali zračne votline, pri katerih se gostota zelo razlikuje od okoliške in se zato tam večino valovanja odbije, skozi pa gre le malo. Sodobne tehnike slikanja uporabljajo tudi Dopplerjev pojav ter na osnovi spremenjene frekvence odbitega signala določijo npr. hitrost pretakanja krvi po ožilju.

Fizikalni vplivi ultrazvoka na tkiva so predvsem mehansko nihanje in segrevanje tkiva zaradi absorpcije. Pri majhni jakosti ultrazvočnega valovanja, ki se uporablja pri slikanju, so ti fizikalni vplivi majhni in naj ne bi imeli stranskih posledic. Ker pa biološki vplivi ultrazvoka v celoti še niso povsem raziskani, se včasih kljub vsemu odsvetuje uporabo ultrazvočnega slikanja po nepotrebnem. Po drugi strani fizikalne vplive ultrazvoka s pridom uporabljajo v zobni higieni, za čiščenje zob, pri fizioterapiji, kjer naj bi pomagali pri lajšanju bolečin in celjenju ran. Poleg tega se v zadnjem času razvija t. i. ultrazvočna kirurgija, pri kateri skalpel ni potreben, saj se npr. maligno tkivo uniči z natančno usmerjenim ultrazvočnim valovanjem zelo velike jakosti.

## 4.5 Navodila za uporabo ultrazvočne naprave pri vajah

Nprava se vključi z gumbom na levi stranski stranici tipkovnice.



Slika 4.3: a) Orientacija slike glede na sondo. b) Slika dela tipkovnice na ultrazvočni napravi, z gumbi za nastavitve slike in merjenje na sliki.

**Nastavitve:** Naprava je ob vklopu nastavljena (nastavitev AUTO, B mode, Probe 1). Na izbranih nastavitvah svetijo zelene diode. Probe 1 je večja linearna sonda, ki oddaja vzporeden snop ultrazvoka s frekvenco 7,5 MHz. Probe 2 je manjša konveksna sonda, ki oddaja ultrazvok s frekvenco 3,5 MHz.

**Opis slike** v B načinu (dvodimenzionalna slika)

- Vodoravna smer na sliki je smer spodnjega roba sonde. Desna stran slike je na tisti strani sonde, na kateri je na sondo priključena žica.

- Navpična smer na sliki je pravokotna na rob sonde, zgornji rob slike je rob sonde.

Če držite sondo tako, da je priključek na desni, spodnji rob sonde vodoraven, sonda pa je usmerjena pravokotno navzdol, je slika na zaslonu v enaki orientaciji, kot tkivo, ki ga slikamo (slika 4.3a).

- Svetlost posamezne pike na sliki je odvisna od jakosti odboja na tem mestu. Kontrast si lahko prilagodite z gumboma  $\Delta$  in  $\nabla$  pri **Gain** za celotno sliko. Naprava omogoča tudi ločeno nastavitev ojačitve kontrasta blizu (**Near Gain**) ali daleč (**Far Gain**) od sonde. S temi gumbi lahko ročno nastavite kompenzacijo slike (kompenzirate zmanjševanje jakosti ultrazvoka zaradi sipanja absorpcije - atenuacijo).

**Slikanje:** Sondo pritisnite ob model. Prehod ultrazvoka v model izboljšate z nanosom gela na sondo (ne pretiravajte s količino). Z nagibom sonde in s spreminjanjem pritiska opazujte, kako se položaj odbojev spreminja. Ko ste s sliko zadovoljni, z nožnim stikalom zamrznite sliko (prižge se lučka na gumbu **Freeze**). Ponovni pritisk na stikalo ponovno vklopi živo sliko.

**Merjenje razdalje:** Pritisnite **Dist** - na sliki se pojavi kurzor, ki ga lahko premikate s sledilno kroglo (trackball). Kurzor postavite na začetno mesto in pritisnite **Set** in kurzor ostane na izbranem mestu. Pojavi se nov kurzor enake oblike, ki ga lahko premikate s sledilno kroglo. Levo na ekranu se izpisuje trenutna razdalja med obema kurzorjema. Drug kurzor postavite na končno mesto meritve in pritisnite **Measure**. Na ekranu ostane

izpisana razdalja v mm za to meritev. Za naslednjo meritev ponovno pritisnite **Dist** in postopek ponovite. Naprava omogoča izpis štirih meritev.

- Naloga:**
1. Z uporabo Dopplerjevega pojava izmerite hitrost električnega vlakca.
  2. Neobvezna naloga: Izmerite frekvenco zvoka, ki ga oddajajo glasbene vilice.
  3. Z uporabo ultrazvočne naprave izmerite hitrost ultrazvoka v silikonu.
  4. Neobvezna naloga: Slikanje: Določite položaj in približno velikost tujka v modelu.

**Potrebnosti:** Poleg osciloskopa boste pri vaji Ultrazvok uporabljali še dve škatli: v eni je merilnik frekvence, v drugi pa sta skupaj ojačevalnik in generator visokofrekvenčnih sunkov, ki imata tudi skupno napajanje. Hitrost ultrazvoka v silikonu pa boste določali z ultrazvočno napravo (nalogi 3 in 4).

**Ultrazvočni oddajnik** je pritrjen na električni vlakec.

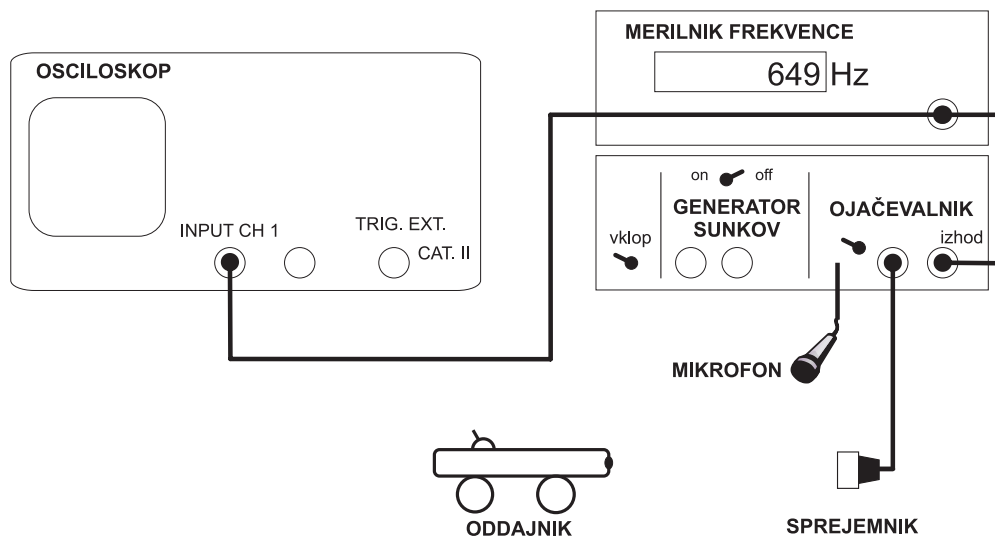
**Ultrazvočni sprejemnik.** Sprejeti ultrazvočni signal je zelo šibak, zato mora biti sprejemnik najprej priključen na ojačevalnik, ta pa je naprej povezan z osciloskopom in merilnikom frekvence (slika 4.4). Sonda s sprejemnikom ima bel rob.

**Mikrofon.** Mikrofon je prav tako kot ultrazvočni sprejemnik priključen na ojačevalnik. Na vhodu ojačevalnika je stikalo, s katerim izbirate med uporabo mikrofona in ultrazvočnega sprejemnika.

**Osciloskop** na zaslonu prikazuje časovni potek zaznanega signala. Na njem je veliko različnih gumbov, zato med izvedbo vaje natančno sledite navodilom za nastavitve, ki so mu priložena.

**Merilnik frekvence** signalu meri frekvenco in na zaslon vsako sekundo izpisuje njeno povprečno vrednost preko ene sekunde. Za zanesljivo pravi rezultat mora meritev tako potekati nepretrgoma vsaj dve sekundi!

**Ultrazvočna naprava** je ob vklopu nastavljen (nastavitev AUTO, B način, sonda 1). Pri izvedbi vaje natančno sledite navodilom.



Slika 4.4: Shema vezave pri vaji ultrazvok.

### Izvedba

- 1) **Naloga 1.** Priprava: Na ojačevalnik priključite mikrofonski in sprejemni ultrazvok (sonda z belim robom) ter ojačevalnik povežite z merilnikom frekvence in osciloskopom (slika 4.4). Ojačevalnik nastavite na uporabo ultrazvoka in preverite, če je generator sunkov izklopljen. Vlasec postavite na tirnice z oddajnikom proti sprejemniku in vklopite ultrazvočni oddajnik. Osciloskop nastavite po priloženih navodilih.

Če je vse pravilno povezano in nastavljeno, se na zaslonu osciloskopa pokaže periodični signal, ki se zmanjša, če z roko zaslonite sprejemnik ali če oddajnik usmerite v stran.

Frekvenco ultrazvoka določite z merilnikom frekvence. Ko vlasec miruje z merilnika frekvence odčitajte frekvenco uporabljenega ultrazvoka  $\nu$ . Na osciloskopu izmerite njihajni čas valovanja, pri čemer pravilno upoštevajte nastavljeno časovno enoto. Preverite, če je recipročna vrednost njihajnega časa zares enaka izmerjeni frekvenci,  $\tau = 1/\nu$ .

Dopplerjev pojav. Pri tem delu naloge boste opazovali, kako se zaradi premikanja izvora ultrazvoka spremeni zaznana frekvenca  $\nu'$  in iz te spremembe izračunali hitrost izvora. Vlasec nastavite hitrost ter ga vozite sem in tja po tračnicah. Opazujte, kaj se dogaja s sprejeto frekvenco, če se vlasec približuje oziroma oddaljuje od sprejemnika. Pri tem morate biti pozorni na to, da meritev frekvence poteka nepretrgano vsaj dve sekundi. Med vožnjo se signal včasih izgubi (pride do interference med direktnim in odbitim delom snopa), kar lahko za trenutek zmede merilec frekvence. Ali je sprememba frekvence res večja pri večji hitrosti vlakca? Ali je sprememba frekvence odvisna od oddaljenosti vlakca od sprejemnika?

Vlakcu izberite primerno hitrost ter izmerite sprejeto frekvenco  $\nu'$ , če se vlakec približuje sprejemniku in če se od njega oddaljuje. Meritvi obeh frekvenc ponovite vsaj trikrat in izračunajte povprečni vrednosti. Iz izmerjenih frekvenc boste lahko po enačbi 4.6 določili hitrosti vlakca  $v$  med približevanjem oziroma oddaljevanjem. V računu uporabite izmerjeno frekvenco oddajnika v mirovanju  $\nu$  iz začetka naloge, ter hitrost zvoka  $c$ , ki jo izračunate po formuli 4.3. Izmerite temperaturo zraka v učilnici in v računu privzemite, da je zrak idealni dvoatomni plin z molsko maso 29 g/mol.  $R = 8300 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Hitrost vlakca določite še neposredno, t.j. z meritvijo časa, ki ga vlakec potrebuje za pot 1,5 m, ter primerjajte to meritev z meritvijo, dobljeno preko Dopplerjevega pojava.

Ko končate z meritvami izklopite ultrazvočni oddajnik in napajanje vlakca.

- 2) **Naloga 2. (neobvezna)** Na ojačevalnik priključite mikrofona in sprejemnik ultrazvoka (sonda z belim robom) ter ojačevalnik povežite z merilnikom frekvence in osciloskopom (slika 4.4).

Na ojačevalniku izberite uporabo mikrofona. Preverite, da sta ultrazvočni oddajnik na vlakcu in generator sunkov izklopljena. Osciloskop nastavite po priloženih navodilih. Glasbene vilice primite čisto pri spodnjem delu in z enim krakom vilic nežno udarite po robu mize. Ko vilice lepo zazvenijo, jih približajte mikrofona. Z osciloskopom opazujte obliko signala, z merilnikom frekvence pa izmerite njegovo frekvenco. Meritev z merilnikom frekvence mora potekati vsaj dve sekundi. Kakšen pa je signal na osciloskopu, če v mikrofona govorite (započete) "A" ali "Š"?

- 3) **Naloga 3.** Hitrost ultrazvočnega valovanja v silikonu boste določili z ultrazvočno napravo. Ultrazvočna naprava ustvari sliko struktur v telesu na osnovi odbojev ultrazvočnih sunkov na mejah med strukturami. Naprava izmeri časovne zamike, s katerimi odboji pridejo nazaj na sondo, ter razdalje do struktur izračuna ob predpostavki, da ultrazvok po vseh tkivih potuje s hitrostjo 1540 m/s. Če je dejanska hitrost v tkivu drugačna, naprava na sliki prikaže napačne razdalje. Pri tej nalogi bomo uporabili strukture z znanimi debelinami in iz ultrazvočne slike določili hitrost ultrazvoka v teh strukturah.

Kot model boste uporabili diske iz silikona, ki jih lahko v poljubnem zaporedju zložite drug na drugega in položite na mizo. Na stiku dveh diskov pride do delnega odboja ultrazvoka, kar se na sliki vidi kot svetla črta. Več kot je odboja, bolj svetla je črta in manj zvoka prodre naprej. Poskusite, kako se pozna na sliki, če je modri disk bližje ali bolj oddaljen od sonde (v skladovnici prosojnih). Če meje med posameznimi diski nikakor ne morete določiti/opaziti, vstavite med diske folijo. Pri izbiri slike, za določanje razdalj pazite, da je sonda navpično (pravokotno na površino)! Izmerite razdalje, pri katerih vidite odboje z ultrazvočno napravo. Vse razdalje merite od zgornjega roba skladovnice diskov (slike). Pri tako izvedeni meritvi so merske napake



manjše. Na diskih so označene debeline diskov izmerjene s kljunastim merilom (ko disk ni bil stisnjen).

Opazujte sliko le pri enem silikonskem disku. Kaj opazite? Pojav je znan tudi kot reverberacija. Izmerite debelino tudi tega diska.

Analiza: Določanje hitrosti ultrazvoka v silikonu: Zvok se v snovi širi s hitrostjo  $c$ , kar pomeni, da v času  $t$  prepotuje razdaljo  $d = ct$ . Naprava preračunava razdaljo ( $d_n$ ), kot bi se ultrazvok širil s hitrostjo  $v_n = 1540$  m/s. (Primer: če bi zvok potoval po tkivu, v katerem je hitrost 3080 m/s, bi ultrazvočna naprava strukture v tem tkivu prikazal pol manjše, kot so v resnici.) Razmerje poti je enako razmerju hitrosti ( $d_n/d = v_n/c$ ). Narišite graf razdalje, izmerjene z ultrazvočno napravo, v odvisnosti od dejanske razdalje ( $d_n = kd$ ) in iz naklona premice ( $k$ ) izračunajte hitrost ultrazvoka v silikonu  $c = v_n/k$ .

Vpliv različnih hitrosti v tkivu na ultrazvočno sliko. Modri silikonski disk s prozornim vstavkom postavite v skladovnico na drugo mesto (od zgoraj). Ponovno pogledjte ultrazvočno sliko. Opazujte, kaj se zgodi s črtami, ki prikazujejo meje med diski. Ali se ujemajo z dejanskim stanjem? Skicirajte potek teh mej. Kaj lahko poveste o hitrosti ultrazvoka v prozornem delu diska? (Opazovan pojav je en od vzrokov za omejeno natančnost/ločljivost ultrazvočne slike.)

- 4) **Naloga 4. (neobvezna)** "Ultrazvočna preiskava". Vzemite večji model iz silikona. Poiščite katere strukture najdete v modelu. Za lažjo orientacijo pregledujte model po kvadrantih. Poskusite določiti položaj, velikost in obliko struktur. Narišite skico modela in na njej označite najdene strukture. Če boste s telefonom slikali zaslon, sliko opremite s skico modela, na kateri označite položaj in orientacijo sonde. Glejte priložena navodila.