# Ultrazvuk i primjena

**Vukoja, Andrea**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:160:710688

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

Repository of Department of Physics in Osijek

zir.nsk.hr

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**ANDREA VUKOJA**

# ULTRAZVUK I PRIMJENA

**Završni rad**

**Osijek, 2017.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ODJEL ZA FIZIKU**



**ANDREA VUKOJA**

# ULTRAZVUK I PRIMJENA

**Završni rad**

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja zvanja prvostupnice fizike

**Osijek, 2017.**

**“ Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom doc.dr.sc. Denisa Stanića u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. „**

Sadržaj

**1. Uvod……...1**

**2. Akustika……..... 2**

2.1 Zvuk…….... 2

2.2 Fizikalna svojstva zvuka……..... 3

2.2.1 Brzina širenja zvuka…….....5

2.2.2 Frekvencija zvučnog vala…….....5

2.2.3 Valna duljina zvučnog vala……...5

2.3 Kako čujemo? ……....6

**3. Ultrazvuk…….....…….....9**

3.1 Povijest ultrazvuka…….....10

3.2 Izvori ultrazvuka……....11

3.2.1 Piezoelektričnost…….....11

3.2.2 Magnetostrikcija…….....13

3.3 Rasprostiranje ultrazvuka…….....14

3.3.1 Akustična impedancija……....15

3.3.2 Atenuacija…….....15

3.4 Zakoni rasprostiranja ultrazvuka……...16

**4. Primjena ultrazvuka……...……...21**

4.1 Medicinska dijagnostika…….…….....21

4.1.1 Ultrazvučni uređaji i prikazi……....21

4.1.2 Područja primjene ultrazvuka u medicini……...23

4.2 Ultrazvuk u navigaciji i sonar…….……...26

4.3 Kemijsko i biološko djelovanje ultrazvuka……..27

4.4 Ultrazvuk u defektoskopiji…….……...27

**5. Ultrazvuk i životinje…….....28**

**6. Štetnost ultrazvuka……..…….....29**

**7. Zaključak…….....……...…….....30**

**8. Literatura...……...……...……...…….....31**

**9. Životopis…….…….....33**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Završni rad

Odjel za fiziku

# ULTRAZVUK I PRIMJENE

ANDREA VUKOJA

Sažetak

Ultrazvuk je mehanički val, odnosno zvuk frekvencije izvan spektra čujnosti ljudskog uha, dakle iznad 20 000 Hz. U prirodi se ultrazvuk pojavljuje kao zvučni val, ali može se i proizvesti ultrazvučnim generatorima, odnosno pretvaračima drugih oblika energije u energiju ultrazvučnih valova. Tako se ultrazvuk može dobiti pomoću inverznog piezoelektričnog efekta, te pomoću magnetostrikcije. Pri prolasku ultrazvuka kroz neki materijal dolazi do refleksije, refrakcije, transmisije, difrakcije i apsorpcije ultrazvučnog vala. Ultrazvuk se primjenjuje u mnogim tehničkim granama. Primjene su različite, mnogobrojne i od velikog značaja za modernu tehnologiju.

U ovom završnom radu opisan je fenomen zvuka, te osnovna fizikalna svojstva zvuka. Rad je posvećen ultrazvuku, izvorima ultrazvuka, te načinima rasprostiranja ultrazvučnih valova. Također se bavi njegovim raznolikim primjenama u medicini, navigaciji, defektoskopiji itd.

( 33 stranice, 22 slike, 2 tablice )

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi : ultrazvuk / valovi / zvuk / ultrazvučni uređaj / medicinska dijagnostika /

Mentor : doc.dr.sc. Denis Stanić

Ocjenjivači :

Rad prihvaćen :

University Josip Juraj Strossmayer Osijek Bachelor of Physics Thesis

Department of Physics

# ULTRASOUND AND APPLICATIONS

ANDREA VUKOJA

Abstract

Ultrasound is a mechanical wave, sound frequencies beyond the range of audibility of the human ear, above 20 000 Hz. In nature ultrasound appears as a sound wave, but it can also be produced by ultrasonic generators. They convert other forms of energy into energy of ultrasound waves. Ultrasound can be obtained by using the inverse piezoelectric effect and magnetostriction. Passage of ultrasound through a material leads to reflection, refraction, transmission, diffraction and absorption of ultrasonic waves. Ultrasound is used in many technical fields. Applications of ultrasound are various, numerous and of great importance to modern technology.

This bachelor's thesis describes the phenomenon of sound, and basic physical properties of sound. This work is dedicated to ultrasound, ultrasound sources, and methods of propagation of ultrasonic waves. It also deals with its various applications in medicine, navigation, defectoscopy, etc.

(33 pages, 22 figures, 2 tables)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords : ultrasound / waves / sound / ultrasonic device / medical diagnostics /

Supervisor : Denis Stanić, Ph.D

Reviewers :

Thesis accepted :

# 1. Uvod

Ultrazvukom nazivamo područje longitudinalnih titraja frekvencije iznad 20 000 Hz. Iako nema principijelne razlike između zvuka i ultrazvuka, činjenica da ultrazvučni valovi imaju višu frekvenciju titranja daju ultrazvuku posebna svojstva.

Temeljno svojstvo po kojem se ultrazvuk razlikuje od zvuka je gotovo pravocrtno prostiranje. Zvuk se širi u svim smjerovima u obliku kuglastih valova, dok se ultrazvuk može usmjeriti u određenom pravcu. Pravocrtno širenje nije neka specijalna osobina ultrazvuka, pošto se svaki val više frekvencije može usmjeriti u danom pravcu. To isto svojstvo imaju i UKV [1], TV i radio valovi, samo što su ovdje frekvencije neusporedivo više, a razlikuje se i priroda vala. Valne duljine ultrazvuka relativno su malene, pa pri širenju nije potrebno uzimati u obzir ogib. Ultrazvuk je kao i zvuk definiran s tlakom i brzinom gibanja čestice u prostoru, a širenjem stvara područja povećane gustoće (zgušnjenja) i smanjene gustoće (razrjeđenja) tvari kroz koju se širi. Ultrazvuk možemo dobiti na dva načina : kada se feromagnetski materijali nalaze u promjenjivom magnetskom polju i umetanjem piezoelektričnog kristala u promjenjivo električno polje čime se postiže njegova mehanička deformacija i vibriranje, pa se na krajevima kristala generira ultrazvuk.

Akceleracija čestica sredstava kroz koje prolaze valovi ultrazvuka vrlo je velika, te se to može korisno primijeniti u praksi. Ultrazvuk iste jakosti ima znatno veću energiju i snagu od zvuka. Energija zvučnog vala proporcionalna je kvadratu amplitude i frekvencije, dok je jakost zvučnog vala proporcionalna samo kvadratu amplitude. Prema tome energija ultrazvučnog vala visoke frekvencije znatno je veća od energije zvučnog vala iste amplitude. Ultrazvuk takve snage proizvodi razne mehaničke, kemijske i toplinske efekte, koji običan zvuk ne može proizvesti. To je temelj primjene ultrazvuka u industriji, medicini i drugim područjima.

---

[1] UKV – ultrakratki valovi 30-300 MHz, služi kao funkcionalna radio-telefonska mreža (hitna pomoć, policija, vatrogasci

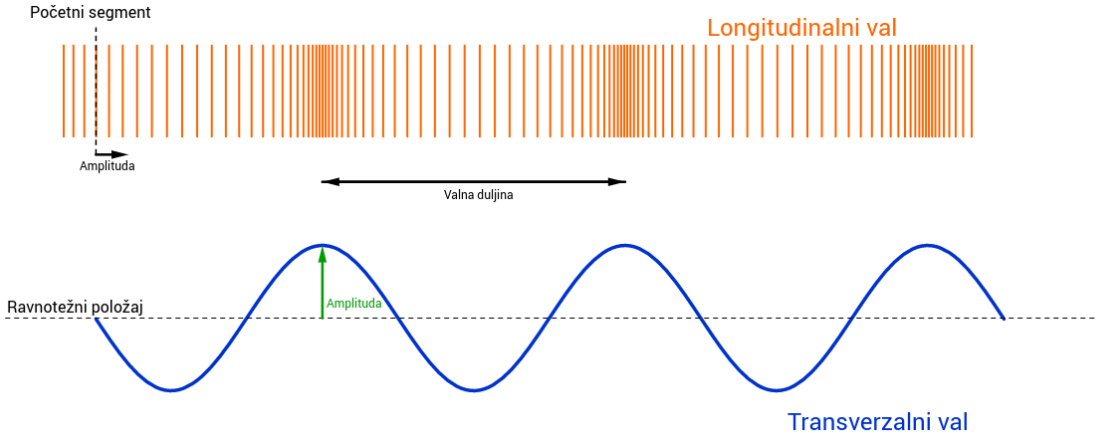
# 2. Akustika

Akustika je grana fizike koja se bavi načinima dobivanja i zakonima širenja zvuka, tj. znanost o zvuku, odnosno valnom gibanju u plinovima, tekućinama i krutim tijelima, te učincima takvog valnog gibanja. Akustika obuhvaća ne samo valove unutar frekvencija čujnosti ljudskog uha, već i izvan tih granica.

Razmatranje zvuka staro je koliko i sama ljudska vrsta. Od grčkih filozofa koji su započeli istraživanja uočavanjem vibracija glazbenih instrumenata, mnogi znanstvenici su dali veliki doprinos u istraživanju akustičnih pojava. Marin Mersenne kojeg nazivaju „ocem akustike“, Galileo Galilei, Isaac Newton, John Shore, Christiann Doppler samo su jedni od mnogih koji su dali svoj doprinos istraživanju i razumijevanju fenomena zvuka.

## 2.1 Zvuk

Zvuk je longitudinalni val neke frekvencije koji se širi kroz medij. U tekućinama i plinovima valovi zvuka su longitudinalni (šire se u istom pravcu u kojem se gibaju čestice medija pri titranju), a u čvrstim tijelima valovi mogu biti i transverzalni (čestice medija titraju okomito na pravac širenja vala). Zvuk se ne može širiti kroz vakuum jer ne postoji sredstvo za njegovo širenje.




**Slika 1. Longitudinalni i transverzalni val [18]**

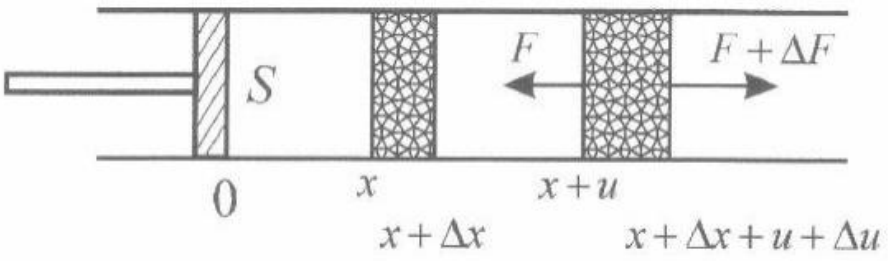
Budući da u fluidu mogu nastati samo longitudinalni valovi, titranje čvrstih tijela u fluidu proizvodi longitudinalne valove pomaka. Ljudsko uho takve valove primjećuje kao zvuk ili šum. Frekvencija zvučnog vala kreće se od 16 Hz do 20 kHz, tj. u rasponu u kojem ga čuje ljudsko uho. Zvuk se širi zbog elastične veze među molekulama sredstva. Izvor zvuka je mehaničko titranje nekog tijela. Ako za primjer uzmemo napetu žicu koju smo trgnuli, čujemo zvuk, a taj osjet zvuka prestaje kada zaustavimo titranje tijela. Energija zvuka širi se medijem u obliku mehaničkog vala. Taj medij je najčešće zrak, ali može biti i tekuće ili elastično čvrsto tijelo. Zvuk ne možemo čuti bez sredstva u kojem se šire mehanički valovi. Prema pravilnosti titranja razlikujemo ton, šum i buku. Ton je zvuk koji se sastoji od harmonijskih titraja, dok su buka i šum titraji različitih frekvencija i amplituda.

Zvuk se širi bez prijenosa mase, ali se zvukom prenose impuls sile i energija. Kao i u ostalim vrstama valova, i u širenju zvuka očituju se pojave svojstvene svakom valnom gibanju kao što su apsorpcija, Dopplerov efekt, interferencija valova, refrakcija, refleksija i difrakcija.

## 2.2 Fizikalna svojstva zvuka

U ovom dijelu ukratko su opisane osnovne fizikalne veličine: brzina širenja zvuka, frekvencija i valna duljina zvučnog vala, te uspostavljene relacije među njima. Svrha ovog poglavlja je pružiti uvod u svijet akustičnih pojava.

Valne pojave možemo opisati valnom jednadžbom. Promotrimo cijev u kojoj se nalazi fluid i pomični štap presjeka S kako je prikazano na slici:




**Slika 2 : Fluid u cijevi s pomični stapom presjeka S [3]**

Pomakne li se štap, kroz fluid se širi longitudinalni poremećaj (kompresija). Prije nastanka poremećaja, element fluida je u sloju između apscisa $x$ *i* $x+\Delta x$.

Kad nastane poremećaj, lijevi se presjek elementa pomakne za $u$, a desni za $u+\Delta u$. Uzrok deformacije sloja fluida je razlika sila u fluidu: $F - (F+\Delta F) = \Delta F$. Ako je razlika tlakova u fluidu definirana kao $\Delta p = \frac{\Delta F}{S}$, a modul kompresije definiran kao: $B = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}}$

te uvedemo oznaku za tlak, $p = -\Delta p$ slijedi:

$$p = B\frac{\Delta V}{V} = B\frac{S\Delta u}{S\Delta x} = B\frac{\Delta u}{\Delta x}$$

Promjene u gornjem izrazu promatramo kao infinitezimalno male veličine tj. diferencijale, pa pišemo :

$$p = B\,\frac{du}{dx}$$

što diferencirano po $x$ daje:

$$\mathrm{d}p = B\frac{d^2u}{dx^2}\mathrm{d}x$$

Po drugom Newtonovom aksiomu, razliku sila $\Delta F$ promatramo kao umnožak mase elementa fluida $\Delta m$ i ubrzanja $a$. Uzimajući u obzir diferencijale, vrijedi: $\mathrm{d}F = \mathrm{d}ma$. Po definiciji je $\mathrm{d}F = S\,\mathrm{d}p$, $\mathrm{d}m = \rho_o S\mathrm{d}x$, $a = \frac{d^2u}{dt^2}$ te slijedi:

$$S\mathrm{d}p = \rho_o S\mathrm{d}x\frac{d^2u}{dt^2},$$ nakon kraćenja sa $S$ slijedi:

$$\mathrm{d}p = \rho_o\frac{d^2u}{dt^2}\mathrm{d}x$$

Izjednačavanjem desnih strana jednadžbi dobivamo diferencijalnu jednadžbu s parcijalnim diferencijalima:

$$\frac{d^2u}{dt^2} = \frac{B}{\rho_o}\frac{d^2u}{dx^2}$$

Dobili smo parcijalnu diferencijalnu jednadžbu drugog reda [3]. Za brzinu širenja poremećaja u fluidu tj. brzinu zvuka uzimamo: $v = \sqrt{\frac{B}{\rho_o}}$.

### 2.2.1 Brzina širenja zvuka

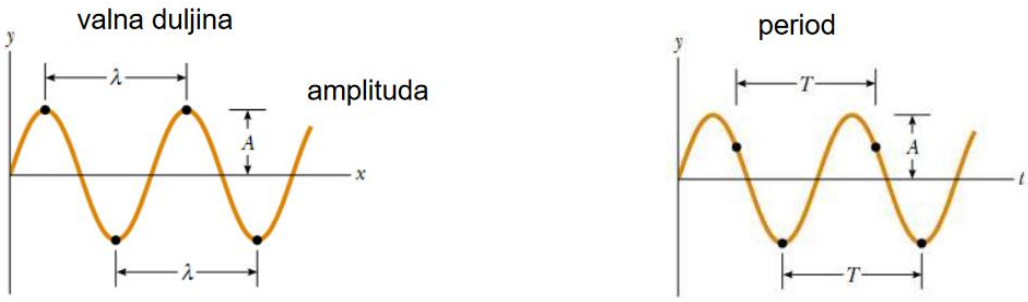
Zvučni valovi se kroz različite medije kreću različitim brzinama. Brzina ovisi o tome koliko se daleko molekule medija mogu odmaknuti od ravnotežnog položaja (elastičnost medija), te koliko su te molekule međusobno udaljene (gustoća medija). Brzina ovisi i o temperaturi medija kroz koji se zvuk kreće. U zraku se pri temperaturi od 20°C valovi kreću brzinom od $\approx$ 343,6 m/s, u vodi se kreću približnom brzinom od 1500 m/s, dok se u željeznoj žici kreću brzinom od 5000 m/s. Što je materijal gušći, zvuk se kroz njega prenosi duže i brže. Dok temperatura ima utjecaja na brzinu širenja zvuka, tlak nema, zbog toga što promjena tlaka uzrokuje jednake promjene u elastičnosti i gustoći, pa brzina ostaje nepromijenjena.

### 2.2.2 Frekvencija zvučnog vala

Jedno od svojstava valova je cikličko ponavljanje u vremenu, pa takvo ponavljanje nazivamo valnim ciklusom. Frekvenciju vala definiramo kao broj ciklusa vala koji se ponavlja u jednoj sekundi, a ona određuje visinu pojedinog zvučnog vala. Trajanje jednog ciklusa je vrijeme potrebno da se tlak promijeni od najvećeg, preko najnižeg do ponovno najvećeg tlaka, a frekvencija označava koliko se takvih cikličkih promjena tlaka dogodi u jednoj sekundi. Mjerna jedinica za frekvenciju je Hz (Hertz). Frekvencija od 100 Hz označava ponavljanje jednog valnog ciklusa 100 puta u sekundi. Povećanjem broja ciklusa u jednoj sekundi povećava se frekvencija zvuka, a takav zvuk naše uho registrira kao viši, također smanjenjem frekvencije dobivamo niže, dublje tonove.

### 2.2.3 Valna duljina zvučnog vala

Valna duljina zvučnog vala je udaljenost između dva susjedna najveća zgušnjenja, kao i dva susjedna razrjeđenja medija kroz koji se širi val. Posebnim instrumentima možemo izmjeriti valnu duljinu zvuka, ali ju naravno ne možemo čuti. Karakteristike brzine, frekvencije i valne duljine zvuka u međusobnom su odnosu stoga ukoliko su nam poznate dvije veličine, vrlo lako možemo izračunati i treću.



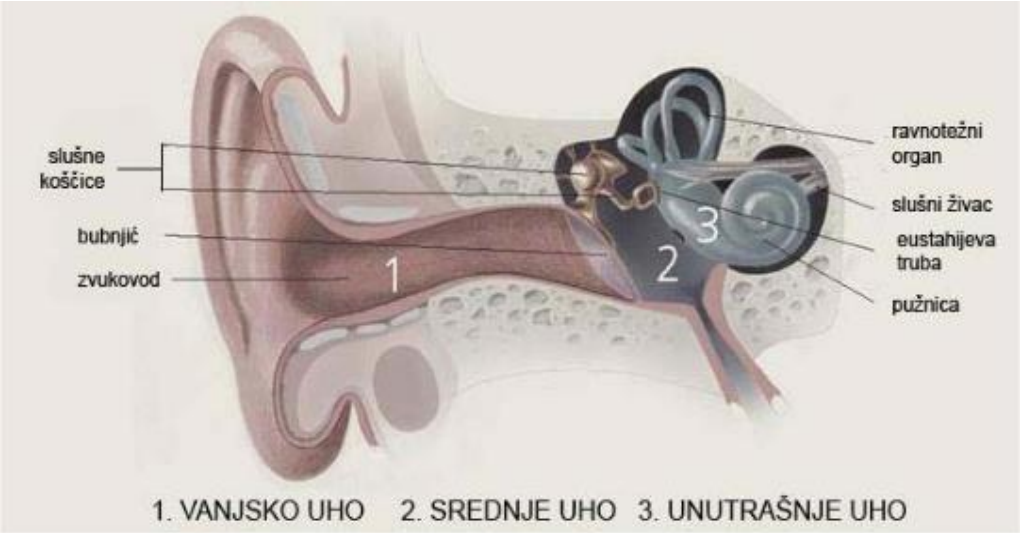

**Slika 3: Valna duljina i period vala u ovisnosti o amplitudi [19]**

Na putu što ga zvuk prevali u jednoj sekundi ima upravo toliko valova kolika mu je frekvencija. Valnu duljinu ($\lambda$) možemo izračunati iz brzine širenja zvuka ($v$) i frekvencije ($f$)

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

## 2.3 Kako čujemo?

Zvuk iz čovjekove okoline prenosi se kroz vanjsko uho (ušna školjka i zvukovod) do srednjeg uha gdje uzrokuje titranje bubnjića. Titranje se dalje prenosi preko lanca slušnih koščica do unutarnjeg uha (polukružni kanali, pužnica, slušni živac i Eustahijeva tuba) gdje dolazi do podraživanja osjetnih slušnih stanica. Nakon što su podražene osjetne slušne stanice dolazi do pretvaranja mehaničke energije zvuka u električni impuls koji se provodi putem slušnog živca i slušnog puta do moždane kore gdje nastaje svjesna percepcija zvuka.




**Slika 4: Građa uha [7]**

Čovjek može razlikovati tonove od 16 do 20 000 Hz, ali ta sposobnost starenjem slabi, pa u starosti razlikuje tonove visine do 10 000 Hz. Ljudski govor većinom se nalazi na frekvencijama od 1000 do 4000 Hz. Sve frekvencije ispod 16 Hz nazivamo infrazvuk, a frekvencije više od 20 000 Hz nazivamo ultrazvuk.

Također čovjek kod zvuka razlikuje visinu tona tj. frekvenciju i njegovu jačinu odnosno glasnoću. Područje čujnosti zvučnih valova individualno je za svaku osobu, pa je zbog toga u fizici potrebno uvesti objektivne mjere. U elastičnoj tvari zbog titranja čestica nastaje zvučni tlak kojeg mjerimo mikrobarima ili paskalima (bar je stara jedinica za tlak). Omjer zvučnih snaga proporcionalan je omjeru kvadrata pripadajućih zvučnih valova. Čujno područje zvučnog tlaka nalazi se između tzv. čujnog praga koji iznosi $2x10^{-5}$ Pa (0.00002 Pa) i praga boli koji iznosi 20 Pa (milijun puta veći od referentnog čujnog praga).

Omjer između čujnog praga i praga boli je $1:10^6$, pa će omjer zvučnih snaga iznositi $1:10^{12}$. Takva bi ljestvica, čiji bi najveći broj imao 12 nula, bila vrlo nepogodna pa se upotrebljava logaritamska ljestvica s bazom 10, za logaritme brojeva od 1 do $10^{12}$. Prema fizičaru Bellu, ljestvica je podijeljena na 12 dijelova, 12 B odnosno 120 dB (deciBella), 1 dB = 1/10 B. Decibel je jedinica bez dimenzije, a služi za iskazivanje omjera dvije istorodne veličine (zvučni tlak, zvučna snaga, zvučni intenzitet). S tako definiranom ljestvicom tihi zvukovi u životnoj sredini su reda veličine 20-30 dB, normalan govor je oko 60-70 dB, a glasni zvukovi (npr. glasna glazba) ima razine 90-110 dB, pa i više [15].

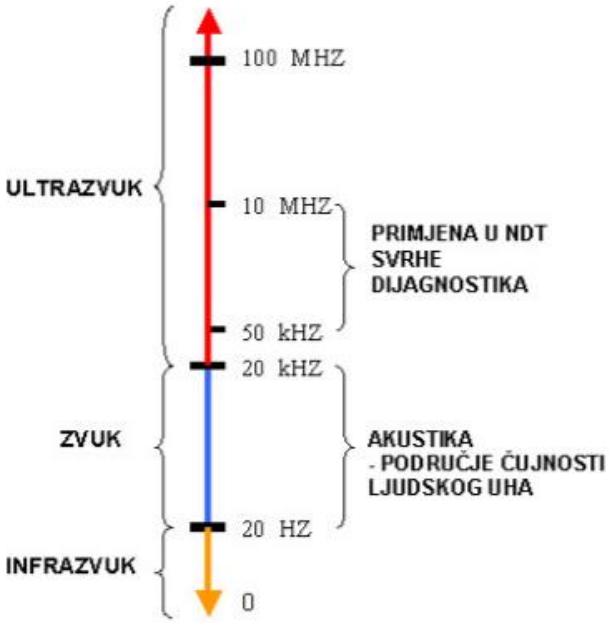
**Tablica 1: Tipične vrijednosti nivoa zvuka [3]**

| Izvor zvuka (buke) | Nivo šuma (dB) |
|---|---|
| granica čujnosti | 0 |
| šum lišća | 10 |
| šaputanje | 20 |
| tiho sviranje radija u kući | 40 |
| običan govor | 65 |
| Automobili 50 km/h (8 m) | 70 |
| Simfonijski orkestar (fortissimo) | 80 |
| Disco club (unutar prostorije) | 90 |
| Zrakoplov (uzlijetanje, 100 m) | 110 |
| granica bola | 120 |

# 3. Ultrazvuk

Ultrazvuk je dio zvučnog spektra, čija je frekvencija iznad područja čujnog ljudskom organizmu. Longitudinalni valovi frekvencije više od 20 000 Hz pripadaju u područje ultrazvuka, a ono se proteže do nekih $10^7$ Hz.

Ultrazvučni valovi su u većini slučajeva longitudinalni valovi. Najčešća frekvencijska područja uporabe ultrazvuka su između 20 kHz i 10 MHz, a kod testiranja materijala najčešće se koriste frekvencije između 50 kHz i 10 MHz . Ultrazvuk se kroz određeni medij može širiti na dva osnovna načina - kao longitudinalni ili kao transverzalni val.




**Slika 5: Frekvencijska područja zvuka [6]**

Ljudsko uho ne osjeća ultrazvučne frekvencije, međutim neke životinje (ribe, psi, šišmiši) mogu ih čuti. Npr. šišmiši odašilju valove ultrazvuka i procjenjuju oblik i udaljenost objekta prema povratnim reflektiranim valovima.

Tehnike mjerenja pomoću ultrazvuka imaju svojih ograničenja. Ne možemo izmjeriti objekte manjih dimenzija od valne duljine vala, pa kako bi se pri mjerenjima dobila dobra rezolucija potrebne su visoke frekvencije. S druge strane, valovi visokih frekvencija i kratkih valnih duljina lako se apsorbiraju u materijalu i ne prodiru duboko u materiju. Zbog toga se u medicinskoj dijagnostici koriste niske frekvencije za mjerenja duboko u tkivu, a visoke frekvencije za mjerenja u blizini površine, a spomenute frekvencije variraju od 1MHz do 20 MHz.

## 3.1 Povijest ultrazvuka

Povijest ultrazvuka i ultrazvučnih uređaja može se pratiti još od 1790. godine Lazzaro Spallanzani tada je otkrio da se šišmiši koriste sluhom prilikom kretanja, a da manje koriste vid. U pokusima je ustanovio ukoliko bi šišmišima začepio usta oni bi se sudarali s preprekama, tj. postali bi dezorijentirani. Na temelju takvih istraživanja zaključio je da se koriste visokim frekvencijama zvuka koje mi ne možemo čuti, ali oni mogu i čuti i proizvoditi i tako ostvariti prostornu navigaciju. 1826. godine švicarski fizičar Jean-Daniel Colladon otkrio je sonografiju koristeći podvodno zvono. Tada je određena brzina zvuka u vodi što je otvorilo velike mogućnosti u razvoju ultrazvuka. Prava revolucija dogodila se 1881. godine kada su Pierre i Jacques Curie otkrili piezoelektrični učinak, te ustanovili da postoji i obrnuta pojava tj. da se neki kristali pod djelovanjem elekričnog polja stežu ili rastežu. To je otvorilo put razvoju ultrazvučnih sondi kakve danas koristimo.

Paul Langevin je nakon potopa Titanika zajedno s Constantinom Chilowskyem osmislio hidrofon koji je služio za detekciju ledenih santi. Ultrazvučni stroj emitirao je niske frekvencije zvučnih valova, koji su došli do prijemnika, slušajući jeku objekata u vodi. Razvili su ultrazvučni pretvarač nalik „sendviču" od tankih kvarcnih kristala zacementiranih između dvije čelične ploče smještenih u potopne kutije. Uređaj je radio na principu slanja i primanja niskofrekventnih zvučnih valova. Hidrofon je kasnije korišten tijekom Prvog svjetskog rata pri otkrivanju podmornica.

Austrijski psihijatar i neurolog Karl Dussik prvi je čovjek koji je iskoristio ultrazvučne valove kako bi dijagnosticirao tumore mozga. Započeo je istraživanje lubanje pomoću ultrazvuka koristeći metodu gdje je sonda postavljena s obje strane pacijenta, a glava djelomično uronjena u vodu. Odjek je snimljen na papir osjetljiv na toplinu, a Dussik je proceduru nazvao „hiperfonografija". Dr. George Luwig i njegov tim suradnika je oko 1947. godine prvi snimio i opisao razliku brzina prolaska zvuka kroz različita tkiva i organe životinja što je bio važan napredak na polju medicinske dijagnostike ultrazvukom. Ian Donald kojeg su prozvali "ocem" ginekoloških ultrazvučnih tehnika izumio je i unaprijedio mnoštvo uređaja koji su se koristili za dijagnostiku i patologiju trudnoće, a tijekom drugog svjetskog rata razvijao je tehnologiju radara i sonara. Također, izumio je B-mode (2D mode) ultrazvuka. U 50-tim i 60-tim godinama prošlog stoljeća Douglas Howry i Joseph Holmes poboljšali su tehnologiju B-moda ultrazvuka. Do tada, pacijent je morao biti potopljen u vodi kako bi se uspješno izveo ultrazvučni pregled. Izumom

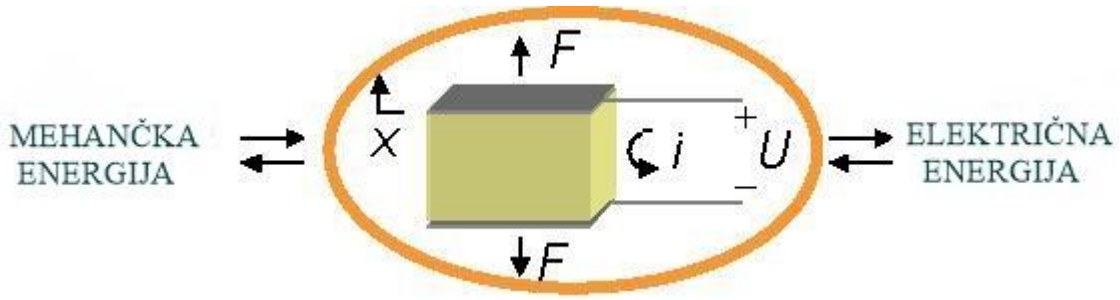
ultrazvučne sonde koja je bila u potpunosti u kontaktu s pacijentom otvoren je put razvoju ultrazvučnih sustava koji se i danas koriste.

## 3.2 Izvori ultrazvuka

Važni izvori ultrazvuka dobivaju se pretvaranjem električnih oscilacija u mehaničke. Takva pretvorba postiže se posredovanjem piezoelektričnih ili magnetostrikcijskih svojstava materije.

### 3.2.1 Piezoelektričnost

Piezoelektrični efekt je pojava stvaranja električnog naboja na površini kristala koji je elastično deformiran utjecajem vanjske, mehaničke, sile te se može koristiti za mjerenje tlaka. 1880. godine Pierre i Jacque Curie otkrili su da se u nekim kristalima pojavljuje električna polarizacija kao posljedica mehaničke deformacije što je direktni piezoelektrični efekt. Godinu dana nakon toga G. Lippmann pronašao je inverzni piezoelektrični efekt : djelovanjem električnog polja na piezoelektrične kristale dolazi do deformacije. Inverzni piezoelektrični efekt omogućuje dobivanje vibracija kristala u ultrazvučnom i zvučnom području, a pomoću direktnog piezoelektričnog efekta može se detektirati ultrazvuk.

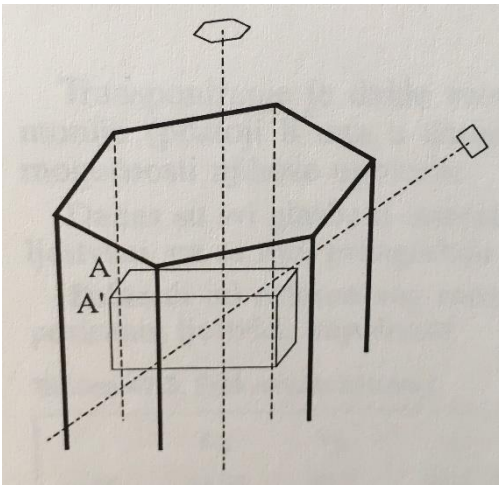



**Slika 6: Piezoelektrični efekt [8]**

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 centra simetrije.

Na primjeru kremena (kvarca), koji je klasičan predstavnik piezoelektričnih kristala, opisati ćemo svojstva piezoelektričnosti.

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




**Slika 7: Presjek kristala kremena [1]**

$$\Delta l = d_P \cdot V$$

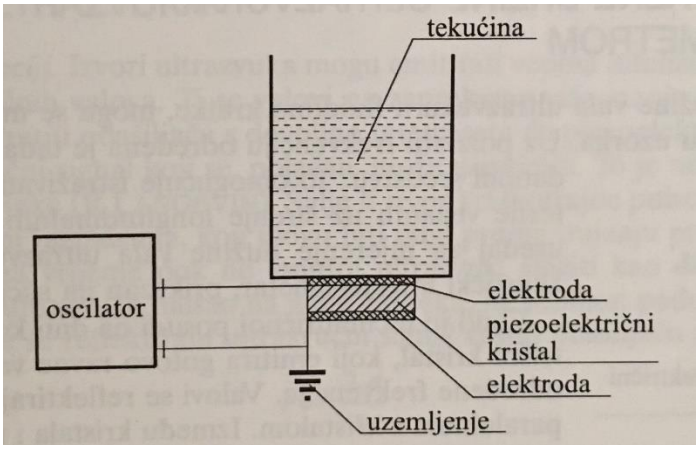
gdje je $d_P$ modul piezoelektričnosti i iznosi $2{,}16 \cdot 10^{-12}$ $mV^{-1}$. Modul je vrlo malen, pa su i promjene debljina kristala vrlo male. Stave li se na pločicu kvarca dvije metalne elektrode i između njih uspostavi izmjenični napon frekvencije $f$, pločice će prisilno titrati tom frekvencijom, ali ona će zbog male amplitude biti veoma slab izvor ultrazvuka. Pločica je zapravo kratka šipka koja titra tako da su joj obje plohe trbusi, pa joj je frekvencija osnovnog stacionarnog stanja dana relacijom

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2L}$$

gdje je $v$ brzina širenja longitudinalnih valova u kremenu.

Kada se frekvencija izmjeničnog napona podesi na *f*, dolazi do rezonancije i pločica titra većom amplitudom i postaje snažan izvor valova ultrazvuka. Piezoelektrični izvor ultrazvuka je piezoelektrični kristal uzbuđivan visokofrekventnim električnim naponom dobivenim pomoću električnog oscilatora. Uređaj s piezoelektričnim kristalom koji služi za emisiju ultrazvuka reverzibilan je. Padne li na piezoelektrični kristal val ultrazvuka, zbog tlaka zračenja vala i izravnog piezoelektričnog efekta između ploha kristala pojavljuje se izmjenični napon, s frekvencijom ultrazvuka, koji se elektroničkim uređajima može pojačati. Na taj način nam može služiti kao detektor ultrazvuka.

Često se ultrazvuk upotrebljava i u tekućinama, pa je tada kremen uronjen u tekućinu, ako je ona električni izolator (parafinsko ulje), ili je prilijepljen jednom plohom na posudu ravnog dna u kojoj je tekućina. [1]




**Slika 8: Ultrazvuk u tekućini [1]**

### 3.2.2 Magnetostrikcija

Ultrazvuk se pomoću ove metode dobiva djelovanjem magnetnog polja nekih materijala (kobalt, nikal, željezo). Feromagnetski materijali pod utjecajem magnetskog polja mijenjaju

svoje dimenzije što nazivamo efekt magnetostrikcije. Magnetsko polje koje djeluje na šipku feromagnetika proizvedeno je prolazom električne struje kroz zavojnicu. 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 uzbuđivani su određenom stalnom strujom koja je modulirana izmjeničnom strujom. To omogućuje odabiranje najpovoljnijeg područja rada magnetostrikcijske šipke. [1]

## 3.3 Rasprostiranje ultrazvuka

Valovi se unutar čvrstih tijela mogu rasprostirati na četiri načina u ovisnosti o načinu titranja čestica. Ultrazvuk se može rasprostirati kao longitudinalni val, transverzalni val, površinski val i kod vrlo tankih metala kao pločasti val.

Longitudinalni i transverzalni valovi najčešće se koriste pri ultrazvučnom ispitivanju materijala. Kod transverzalnih valova čestice se gibaju okomito na smjer širenja vala, dok kod longitudinalnih valova čestice titraju u smjeru širenja vala. Longitudinalni valovi se šire kroz sva tri agregatna stanja, a za efektivno širenje transverzalnih valova potrebno je kruto tijelo. Kao što je već i ranije naglašeno, brzine širenja ultrazvučnih valova se bitno razlikuju u različitim materijalima. Brzina širenja vala ovisi o svojstvima materijala i temperaturi.

| Materijal | c (m/s) |
|---|---|
| zrak pri normalnom tlaku | 331 |
| voda (20 °C) | 1 430 |
| ricinusovo ulje | 1 500 |
| polietilen | 2 000 |
| mjed | 4 490 |
| aluminij | 6 400 |
| čelik | 5 980 |

**Tablica 2: Brzine širenja ultrazvuka u nekim materijalima [4]**

### 3.3.1 Akustična impedancija

Akustična impedancija definira se kao produkt gustoće materije i brzine ultrazvučnih valova u određenom materijalu. Računa se prema izrazu :

$$Z = \rho \cdot c = f \cdot \omega$$

gdje je :

**Z**…akustična impedancija [kg/m²s]

**ρ**…gustoća materijala [kg/m³]

***c***…brzina rasprostiranja ultrazvuka u materijalu [m/s]

Akustična impedancija važna je pri određivanju akustične transmisije i refleksije na granici dvaju materijala različitih impedancija, konstrukciji ultrazvučnih pretvornika (sondi) i procjeni apsorpcije zvuka unutar medija. [6]

### 3.3.2 Atenuacija

Atenuacija ili prigušenje je pojava koja se događa pri prolasku ultrazvuka kroz materiju. Prilikom širenja zvuka kroz sredstvo, njegov intenzitet se smanjuje sa udaljenosti. U idealnom materijalu jedini faktor koji utječe na smanjenje intenziteta je širenje kroz sredstvo, dok u realnom materijalu dolazi do smanjenja intenziteta zbog raspršenja i apsorpcije. Kombinacijom ta dva utjecaja dobivamo efekt atenuacije. [6]

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha z}$$

gdje je :

**I**…reducirani intenzitet nakon što je val prešao udaljenost z od početne točke [W/m²]

**$I_0$**…intenzitet vala u određenoj točki [W/m²]

**α**…koeficijent atenuacije vala u z smjeru [dB/MHz * m]

**z**…točka u kojoj se promatra val [m]

## 3.4 Zakoni rasprostiranja ultrazvuka

### *Zakon refrakcije*

Lom ultrazvučnih valova pri prijelazu iz jednog sredstva u drugo opisani su zakonom refrakcije koji glasi:

$$\frac{sin\alpha}{sin\beta} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

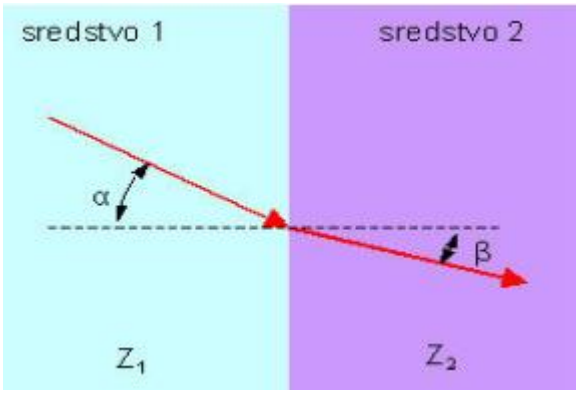
gdje je :

**α**… kut upadnog vala [°]

**β**….kut reflektiranog vala [°]

**$Z_1$**…akustička impedancija materijala upadnog vala [kg/m² s]

**$Z_2$**…akustička impedancija materijala prenesenog vala [kg/m² s]




**Slika 9: Refrakcija ultrazvuka [6]**

### *Zakon refleksije*

Zbog različitih akustičkih impedancija sredstava dio energije se reflektira na granici dva sredstva, a dio prenosi u drugi materijal.

Intenzitet reflektiranog vala računa se prema izrazu :

$$I_{\mathrm{r}} = \left| \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right| \cdot I_{\mathrm{i}}$$

gdje je :

$\boldsymbol{I_r}$…intenzitet reflektiranog vala [W/m²]

$\boldsymbol{I_i}$…intenzitet upadnog vala [W/m²]

$\boldsymbol{Z_1}$…akustična impedancija materijala upadnog vala [kg/m² s]

$\boldsymbol{Z_2}$…akustična impedancija materijala prenesenog vala [kg/m²s]

Koeficijent refleksije definira se kao odnos zvučnog pritiska reflektiranog i prolaznog vala prema zvučnom pritisku upadnog vala. Računa se prema izrazu:

$$r = \frac{\boldsymbol{I}_\mathrm{r}}{\boldsymbol{I}_\mathrm{i}} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}\right)$$

gdje je :

**r**… koeficijent refleksije

$\mathbf{I_r}$…intenzitet reflektiranog vala [W/m²]

$\mathbf{I_i}$…intenzitet upadnog vala [W/m²]

$\mathbf{Z_1}$…akustična impedancija materijala upadnog vala [kg/m² s]

$\mathbf{Z_2}$…akustična impedancija materijala prenesenog vala [kg/m²s]

## *Snellov zakon*

Veza između kutova i brzine širenja ultrazvučnih valova određena je Snellovim zakonom, pri čemu vrijedi:

$$\frac{sin\alpha}{sin\beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

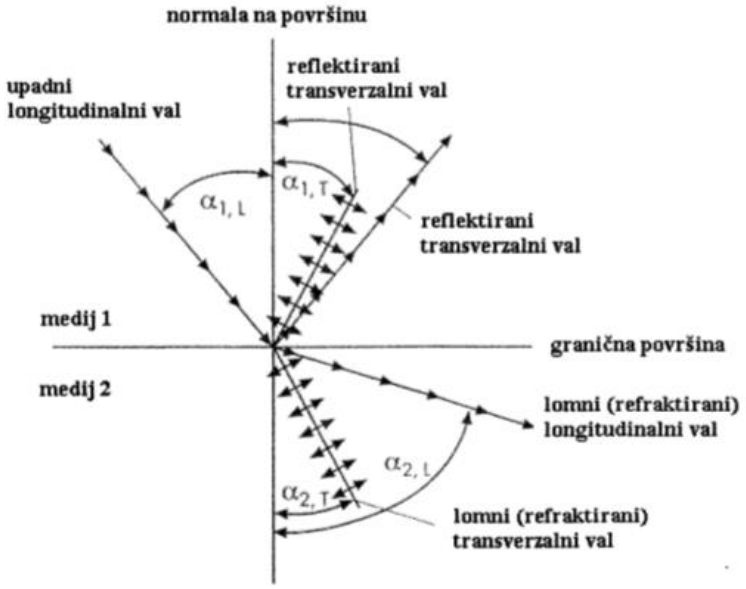
gdje je:

$\alpha$…kut širenja zvuka u mediju 1

$\beta$…kut širenja zvuka u mediju 2

$v_1$…brzina zvuka u mediju 1

$v_2$…brzina zvuka u mediju 2




**Slika 10: Snellov zakon [6]**

## *Zakon transmisije*

Pri prijelazu ultrazvuka iz jednog materijala u drugi, na granici ta dva medija, dolazi do djelomičnog odbijanja ultrazvučnih valova - refleksije i prelaska ultrazvučnog vala u drugi medij - transmisije pod uvjetom da mediji nisu jednake impedancije Z.

Definicija koeficijenta transmisije istovjetna je definiciji koeficijenta refleksije i računa se prema izrazu :

$$d = \frac{I_r}{I_i} = 1 - r$$

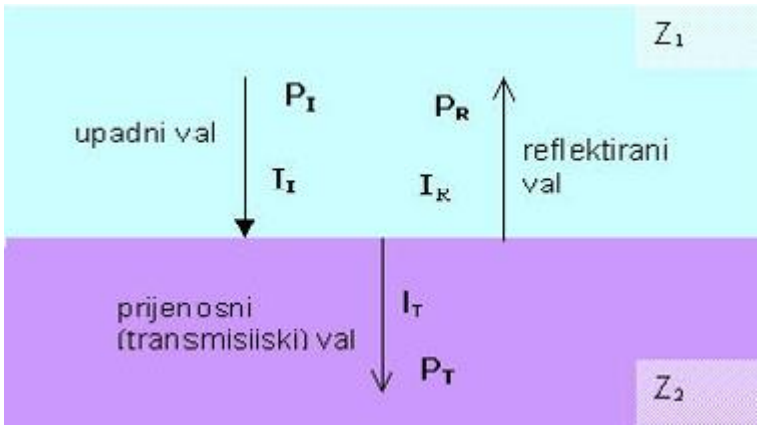
gdje je :

***d***… koeficijent transmisije

***r***.…koeficijent refleksije

$I_r$…intenzitet reflektiranog vala [W/m²]

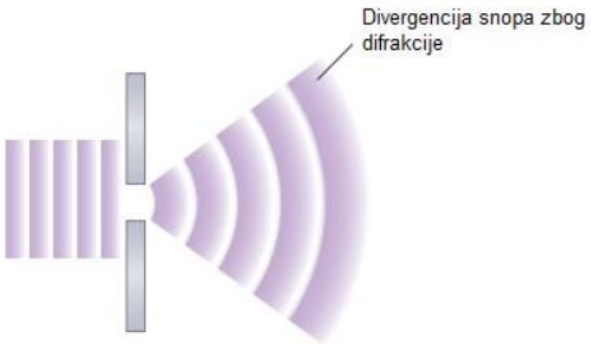
$I_i$…intenzitet upadnog vala [W/m²]




**Slika 11: Refleksija i transmisija upadnog vala [6]**

## *Difrakcija ultrazvučnih valova*

Kada ultrazvučni val dođe do ruba prepreke koja mu se nađe na putu, dolazi do difrakcije vala oko ruba. Što je odnos dimenzije prepreke i valne duljine vala manji, difrakcija je veća.




**Slika 12: Difrakcija ultrazvučnog vala na prepreci s prorezom [5]**

*Zakon apsorpcije*

Apsorpcija ultrazvuka je proces prigušivanja zvuka prolaskom kroz medij. Zvuk se u materijalu apsorbira tako da se pretvori u neki oblik energije i zatim u toplinu. Kada ultrazvučni val udari u plohu postavljenu na čvrstu podlogu, dio zvučne energije se reflektira, a ostatak se apsorbira.

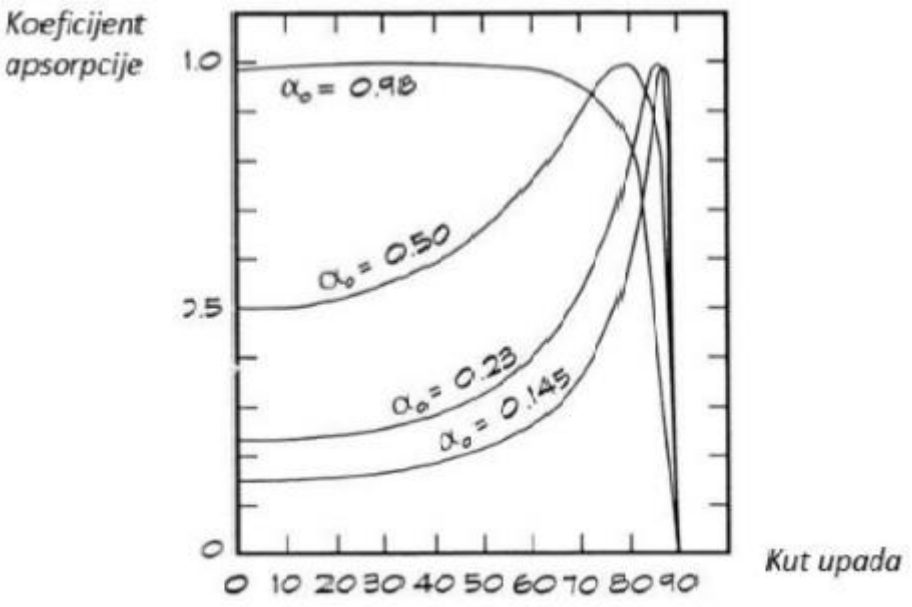
Koeficijent apsorpcije računa se prema izrazu:

$$\alpha = \frac{Ia}{Iu}$$

gdje je:

$\boldsymbol{I_a}$...intenzitet apsorbiranog vala [W/m²]

$\boldsymbol{I_u}$...intenzitet upadnog vala [W/m²]




**Slika 13 : Ovisnost koeficijenta apsorpcije o kutu upada zvuka [13]**

# 4. Primjena ultrazvuka

Primjena ultrazvuka je raznolika. Neke od primjena su : ispitivanje homogenosti materijala, medicinska dijagnostika, mjerenje dubine mora, navigacija, mikro-masaža, uništavanje bakterija, stvaranje finih emulzija, bušenje itd. Neke od njih ćemo detaljnije razraditi u nastavku.

## 4.1 Medicinska dijagnostika

U medicinskoj dijagnostici upotrebljavaju se longitudinalni valovi frekvencije oko 2-15 MHz. Ultrazvučni valovi usmjeravaju se na organe pomoću sonde koja reflektira zvuk i stvara sliku. Upotrebljavaju se kratki impulsi ultrazvuka, koji sadrže cijeli spektar frekvencija i detektiraju se njihovi odjeci iz unutrašnjosti tijela. Ljudska tkiva nisu homogena u pogledu širenja ultrazvučnih valova , pa pri prolasku valova kroz tkiva dolazi do refleksije, refrakcije, apsorpcije te raspršenja energije. Brzina širenja ultrazvuka u tkivima je oko 1 540 m/s. Što je frekvencija viša, valna duljina je kraća. U tijelu, valna duljina frekvencije od 3 MHz iznosi 0,5 mm, a od 6 MHz iznosi 0,25 mm.

### 4.1.1 Ultrazvučni uređaji i njihovi prikazi

Ultrazvučni uređaj se, u osnovi, sastoji od sonde, odašiljačkog plus generatora, kompenzacijskog pojačala, upravljačke jedinice za fokusiranje, digitalnog procesora i sustava za prikaz. Ultrazvučni snop nastaje u sondi ultrazvučnog uređaja, gdje se nalaze piezoelektrični kristali, i odašilje se u tijelo pacijenta. Dio ultrazvučnog snopa koji prolazi kroz tkivo reflektira se prema sondi, a dio se raspršuje i oslabljuje. Reflektirani odjeci vraćaju se u sondu, obrađuju se u računalu ultrazvučnog uređaja i prikazuju na ekranu uređaja u tonovima sive skale. Takav prikaz naziva se B-prikazom (brightness-mode). Prikaz određenog organa u ljudskom tijelu ovisi o njegovom sastavu, pa se tako B-prikazom mogu vrlo pouzdano razlikovati ciste i tekuće kolekcije od žarišnih solidnih tvorba u organima trbušne šupljine. Ultrazvuk prolazi kroz organe uz

relativno malo oslabljenje i daje homogen prikaz organa na ekranu, ali ne prolazi kroz strukture ispunjene zrakom, niti kroz kosti. Da bi se slika prikazala na ekranu, liječnik pokretima ruke i usmjeravanjem snopa iz sonde određuje ravninu koju će prikazati na ekranu i pregledati. Za

prikaz površinskih tkiva koriste se sonde visokih frekvencija između 7,5 MHz i 15 MHz, dok se za prikaz dublje smještenih organa koriste sonde niskih frekvencija od 2 do 5 MHz. Visoka frekvencija omogućuje visoku razlučivost, ali je prodornost ultrazvučnog snopa mala i zbog toga se visokim frekvencijama ne mogu prikazivati duboko smješteni organi.

Najstariji način korištenja ultrazvuka u medicinskoj dijagnostici danas se koristi samo kod oftalmoloških pregleda. Princip rada je takav da se ultrazvučne zrake odbijene u tkivu vraćaju u sondu te se prikazuju na ekranu kao šiljci sa udubinama koje odgovaraju udaljenostima reflektirajućih struktura uzduž snopa. Nema klasičnog grafičkog prikaza već se prikazuju samo „peakovi“ (šiljci) na mjestu odbijanja zrake čime se dobiju samo osnovne konture nekog tkiva ili organa. Takav način prikaza naziva se A-prikaz (amplitude-mode). Prikaz kojim se najbolje mogu pokazati pokreti jače reflektivnih struktura u tijelu naziva se M-prikaz (motion-mode). Koristi se u situacijama kada su potrebna mjerenja na organima koji su u gibanju tj. ne miruju. Tijekom pregleda koristi se samo jedan snop ultrazvučnih valova i stalno je usmjeren u istom smjeru. Na ordinati se prikazuje trenutna dubina nekog reflektora, a na apscisi vrijeme. Zbog odlične temporalne rezolucije ovog načina rada, M-prikaz je koristan za procjene brzih pokreta. Posljednjih godina su u širokoj kliničkoj uporabi doplerski uređaji koji rade na način da prijemnik koji se kreće prema odašiljaču prima drugačiju frekvenciju od odaslane. Kada se prijemnik i odašiljač približe, frekvencija koju prima prijemnik je viša od odaslane, a kada se udalje primljena frekvencija je niža. Budući da se frekvencija reflektiranog ultrazvučnog snopa razlikuje od frekvencije odaslanog snopa ako se reflektor giba, moguće je analizirati brzinu i karakteristike protoka u krvnim žilama u kojima kao glavni reflektori služe eritrociti. [4]



**Slika 14: Ultrazvučni uređaj [9]**

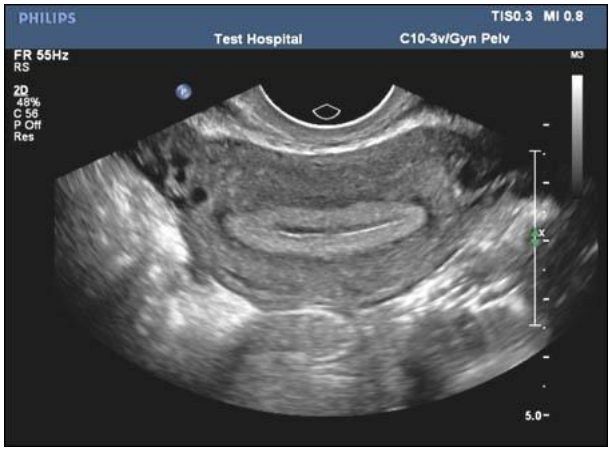
### 4.1.2 Područja primjene ultrazvuka u medicini

Od svih metoda ultrazvuk je najdostupniji, ultrazvučni uređaji su najbrojniji i najjeftiniji, a dijagnostički ultrazvuk nema štetnih djelovanja na bolesnika i medicinsko osoblje. Ultrazvuk se primjenjuje u skoro svim granama medicine, najčešće u dijagnostici, a također se koristi u terapiji i kirurgiji.

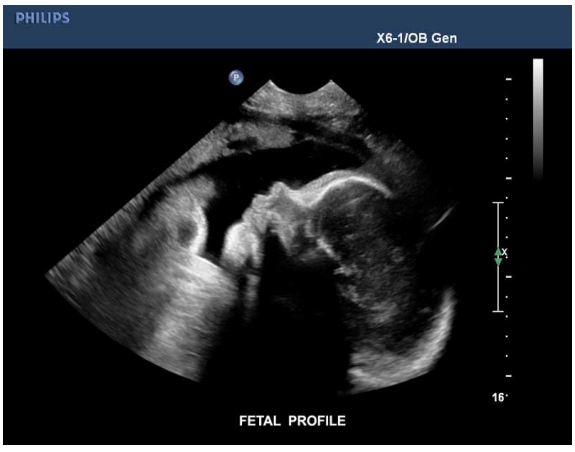
*Ginekologija i porodništvo*

Ultrazvučna dijagnostika se danas najviše upotrebljava u porodništvu. Glavni razlog tome je da su druge moguće dijagnostičke metode invazivnije od ultrazvuka i prema istraživanjima ultrazvuk predstavlja najmanje štetnu metodu prikaza ploda u maternici.

Pomoću B-prikaza može se prikazati slojna slika ploda nakon 7. mjeseca trudnoće. Pomoću ultrazvuka moguće je vidjeti položaj ploda, izmjeriti njegove dimenzije, pronaći grublje malformacije i ustanoviti je li plod živ. Osim toga može se prikazati posteljica i okolina ploda. Od dimenzija mjere se promjer glave ploda, dimenzije trupa, dimenzije mokraćnog mjehura, debljina posteljice i duljina velikih kostiju. Aparati koji rade u stvarnom vremenu omogućuju i praćenje pokreta ploda i ranu detekciju rada srca.



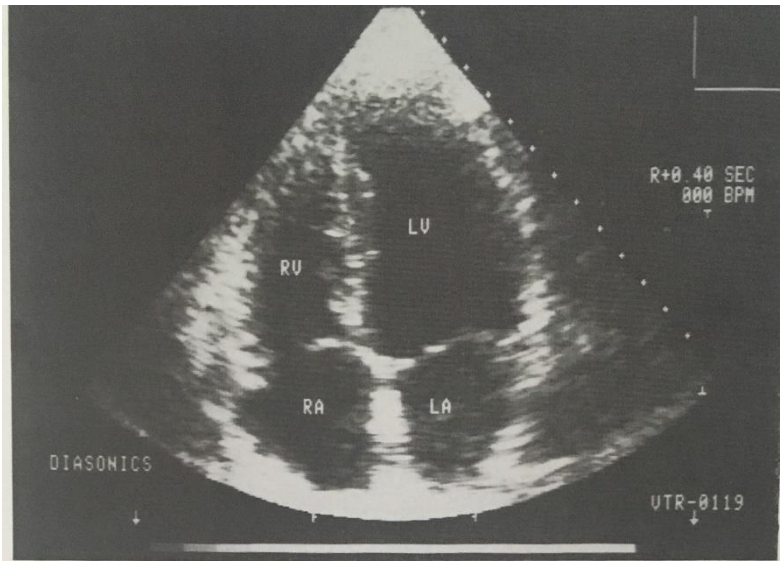

**Slika 15: Ultrazvučni prikaz maternice [10] [10]**




**Slika 16: Ultrazvučni prikaz profila fetusa**

## *Ehokardiografija*

Ultrazvučna dijagnostika u kardiologiji ima veliku važnost. Ultrazvukom se može prikazati presjek srca i pokreti srčanih struktura. Pretraga se obavlja ultrazvučnim uređajem u stvarnom vremenu i M-prikazom. Sa slike presjeka srca mogu se izmjeriti dimenzije srca, debljina, položaj zalistaka, mogu se pronaći tumori, promjene, debljine mišića i defekti u pregradama između klijetki. M i B-prikazi se u posljednje vrijeme kombiniraju s mjerenjem brzine na Dopplerovu principu, čime se dobivaju potpuniji podaci o radu srca. Dopplerove pretrage se obavljaju rutinski za mjerenje protoka krvi u srcu.




**Slika 17: Ultrazvučna slika presjeka srca na sve četiri komore [4]**

## *Površinski organi*

U prikazu površinskih organa sonda ne može biti prislonjena direktno na kožu jer se u tom slučaju koža i potkožno tkivo ne mogu dobro vidjeti zbog odašiljačkog impulsa, interferencije u blizini pretvarača i paralize pojačala nakon odašiljačkog impulsa. U takvim se pretragama pretvarač udaljava od objekta vodenom kupkom ili posebnim gelom.

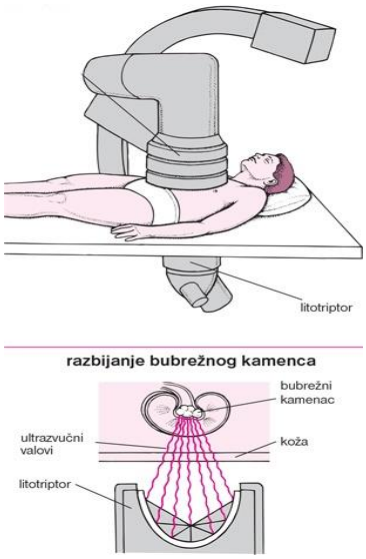
## *Terapijski ultrazvuk*

Terapija ultrazvukom je primjena ultrazvučne energije u svrhu liječenja. U terapijske svrhe koristi se ultrazvuk frekvencije od 0,75  do 3 MHz. Koristi se kao oblik terapije dubokom toplinom
koju stvaraju zvučni valovi. Ultrazvuk djeluje kao mikro-masaža kada se primjenjuje na mekim tkivima i zglobovima, te pomaže smanjiti otjecanje, povećava protok krvi, smanjuje bol i ukočenost.



**Slika 18:  Terapijski ultrazvuk [11]**

Također se koristi za razaranje neželjenog tkiva ili objekata u tijelu.  Koristi se za razbijanje žučnih i bubrežnih kamenaca (ultrazvuk velikog intenziteta od oko 10 MW/m² ), ili za zagrijavanje i uništavanje bolesnog ili tumorskog tkiva.



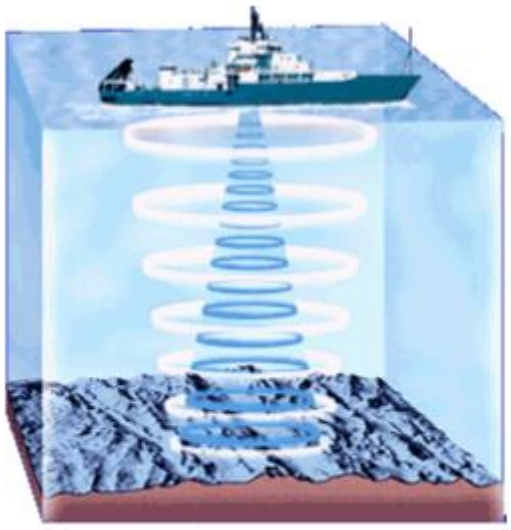

**Slika 19: Razbijanje kamenca pomoću ultrazvuka [12]**

## 4.2 Ultrazvuk u navigaciji i sonar

Izvori ultrazvuka emitiraju intenzivne i veoma usmjerene snopove ultrazvučnih valova. Valovi se na zaprekama uglavnom pravilno reflektiraju i mogu se vratiti odašiljaču s dovoljno intenziteta da piezoelektričnim efektom mogu dati električni signal koji se, pojačan, može zamijetiti. To je neka vrsta ultrazvučne jeke. Ukoliko izvor šalje kratkotrajne pulsove ultrazvučnih valova u pravilnim razmacima, ultrazvučni odašiljač može služiti kao detektor za vrijeme dok se ne emitira ultrazvuk. Ako snop emitiranog ultrazvuka naiđe na zapreku npr. podmornicu na nekoj udaljenosti *d*, tada će se reflektirani ultrazvučni signal vratiti odašiljaču nakon određenog vremena.

$$t = \frac{2d}{v}$$

Uređaj koji radi na ovome principu naziva se sonar (SOund Navigation And Ranging) i počeo se koristiti još u Prvom svjetskom ratu. Aktivni sonar se sastoji od izvora ultrazvuka (10-30 kHz) i prijemnika tj. hidrofona. Smješten je na dnu broda. Sonar se koristi za otkrivanje ribljih jata, određivanje dubine, podvodnu orijentaciju, mjerenje brzine kretanja te znanstvena i oceanska istraživanja. U vojnoj primjeni, sonar služi na podmornicama za otkrivanje drugih podmornica i površinskih brodova. 1960. godine je pomoću sonara izmjerena dubina Marijanske brazde u Tihom oceanu, te je upotrijebljen i u traganju za Nessie iz Loch Nessa.



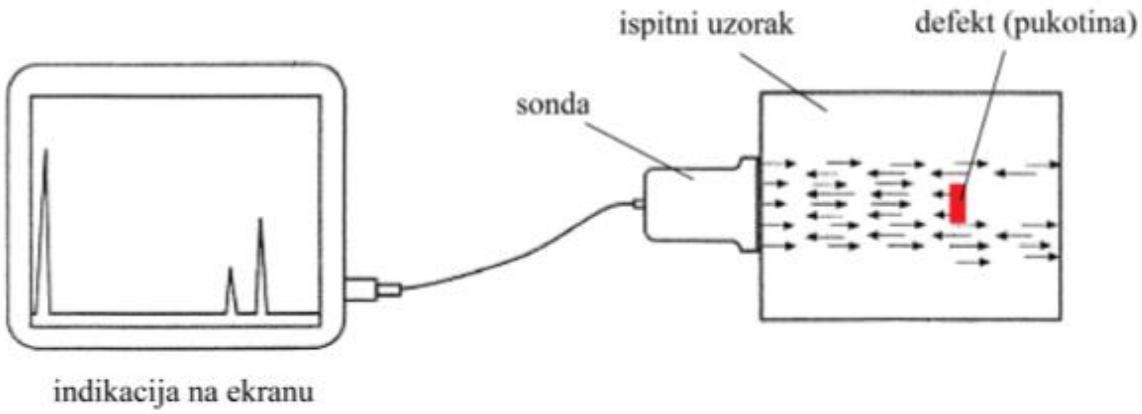
**Slika 20: Princip rada sonara [14]**

## 4.3 Kemijsko i biološko djelovanje ultrazvuka

Zbog malih duljina valova i mogućnosti postizanja znatnih energija, ultrazvuk može uzrokovati fragmentaciju mikroorganizama i velikih molekula suspendiranih u tekućinama. Također uzrokuje kavitaciju tj. rasplinjavanje tekućina. Danas se ultrazvučna kavitacija koristi za uklanjanje masnog tkiva i omogućuje stvaranje emulzija dvaju ili više tekućina koje se inače ne miješaju. Uređaji za čišćenje koji koriste ultrazvuk mogu biti različitih dimenzija, od malih ladica u zubarskim ordinacijama do velikih industrijskih postrojenja. Ultrazvuk se često se upotrebljava i za čišćenje laboratorijskog posuđa.

## 4.4 Ultrazvuk u defektoskopiji

Kao što se ultrazvuk upotrebljava za detekciju i mjerenje udaljenosti od tijela koja reflektiraju ultrazvuk, tako se može upotrijebiti i za detekciju i lokaciju defekata u metalnim predmetima velikih dimenzija. Refleksiju signala uzrokuju nehomogenosti materijala kao što su šupljine, pukotine, strana tijela itd. Kada ultrazvučni val u materijalu naiđe na grešku, iza nje će, ovisno o vrsti materijala, val oslabiti ili se uopće neće pojaviti. Ultrazvučna metoda može se prilagoditi materijalima i može otkriti nepravilnosti koji su prilično duboko u materijalu. Metoda je prikladna za ispitivanje objekata velikih dimenzija složene konstrukcije, gdje nije moguće primijeniti snimanje rendgenskim zrakama. Takve se metode nazivaju metodama nerazornih ispitivanja.

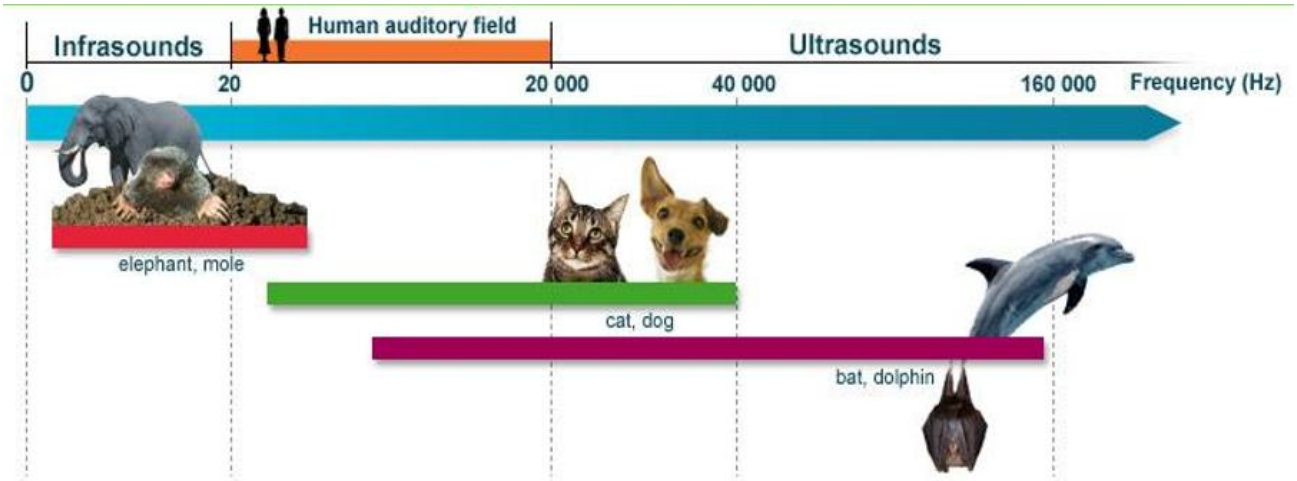



**Slika 21 : Metoda ultrazvučnog ispitivanja materijala [16]**

## 5. Ultrazvuk i životinje

Neke životinje mogu čuti ultrazvuk jer imaju gornju graničnu frekvenciju čujnosti višu od čovjeka. Životinje osim što čuju, imaju i sposobnost proizvoditi ultrazvučne valove za orijentaciju i komunikaciju. Eholokacija je biološki sonar koji koriste viši kralježnjaci, a osim šišmiša to su dupini, kitovi zubani, određene rovke i neke vrste ptica. Te životinje emitiraju zvučne valove u okoliš i primaju jeku koja se odbija od različitih objekata u okolišu. Životinje po primitku jeke analiziraju odlazni signal i povratnu jeku te mozak stvara sliku okoline određujući udaljenost pojedinih objekata. Životinje je tako koriste za identifikaciju objekta i određivanje njihove udaljenosti.

Eholokacija većini životinja služi za snalaženje u okolini i pronalazak plijena. Vrste se služe eholokacijom i u vodi i u zraku. Zvuk vodom putuje četiri puta brže nego zrakom, pa će sisavac koji se koristi eholokacijom u vodi informacije jeke primiti brže, potrošiti manje energije za proizvodnju signala i poslati signal dalje nego onaj u zraku. Na kopnu vlaga i temperatura snažno utječu na sposobnost širenja zvuka zrakom. Zrak je relativno slab vodič zvuka, pa je visok intenzitet signala izuzetno bitan. Prema istraživanjima, više se frekvencije u zraku brže smanjuju nego one niže. Zato kopneni sisavci koriste više frekvencijske eholokacijske zvukove. Eholokacijski zvukovi koje ispuštaju životinje su kratki pulsovi zvuka koji variraju u trajanju od 0,25 do 100 ms. Traju različito dugo kod različitih vrsta, čak i pojedine jedinke ne koriste uvijek istu frekvenciju. Ako se više različitih vrsta nalazi unutar zajedničkog područja uočene su promjene u frekvencijama kako bi znali točno čiji je signal.




**Slika 22: Područje čujnosti zvuka nekih životinja [20]**

## 6. Štetnost ultrazvuka

Ultrazvuk se već dugi niz godina koristi u zdravstvenim ustanovama i nije pokazao nikakve štetne biološke ili mehaničke efekte za ljudski organizam. Međutim 2006. godine pod vodstvom hrvatskog neurologa Paška Rakitića, tim znanstvenika je proveo istraživanje tijekom kojeg je utvrđeno da je ultrazvuk štetan za razvoj mozga nerođenih miševa, te da bi takav utjecaj mogao imati i na djecu. Rezultati istraživanja objavljeni su te iste godine u časopisu Proceedings of the National Academy of Sciences, a doktor Rakitić je objasnio kako su nužna daljnja istraživanja u cilju utvrđivanja opasnosti ultrazvuka, te je trudnicama preporučio da ga ne koriste prečesto.

Znanstvenici su zapazili da se tijekom razvoja mozga fetusa neuroni postavljaju na konačan položaj u moždanoj kori, što je važno za funkcioniranje mozga u cjelini. Nakon što su skotne mišice bile izložene ultrazvuku dulje od 30 minuta utvrdilo se da određen broj neurona nije zauzeo pravilan položaj već je zaostao u dubljim slojevima moždane kore. Ovakvi su se rezultati pokazali iznimno važnim s obzirom da se poremećaji u migraciji neurona smatraju jednim od potencijalnih uzroka psihičkih bolesti ili tegoba, poput metalne retardacije ili autizma. Za vrijeme ultrazvučnog pregleda, dijete i njegova glava bombardiraju se mlazovima ultrazvučnih valova visokih frekvencija, a takvi valovi mogu nanijeti štetu kromosomima ili uzrokovati stanično zagrijavanje pri čemu se može oštetiti stanica i usporiti njezin razvoj.

Liječnički savez se izrazio protiv nepotrebnog izlaganja ultrazvuku u cilju određivanja spola djeteta, utvrđivanja tjedna trudnoće ili potvrde višeplodne trudnoće, s obzirom da se neki od tih podataka mogu saznati uobičajenim pregledom iskusnog ginekologa uz pomoć fetoskopa ili stetoskopa. Često se napominje kako životinje, poput delfina i kitova, ultrazvuk koriste kao

# 7. Zaključak

Iako je ultrazvuk izvan našeg spektra čujnosti, kroz godine znanstvenici su pronašli i počeli istraživati ovo područje akustike, te na kraju omogućili i primjenu ultrazvuka u širokom spektru industrije, skoro svim granama medicine, farmaciji, vojnoj tehnologiji, navigaciji i ribarstvu. Ultrazvuk ima mnoge prednosti, od stvaranja ultrazvučne slike u realnom vremenu, mobilnosti ultrazvučnih uređaja, do relativno niske cijene u usporedbi sa drugim uređajima. Najveća prednost ultrazvuka je da za stvaranje slike ne koristi ionizirajuće zračenje, a sama pretraga je bezbolna i neinvazivna. U zadnje vrijeme se napominje da iako je ultrazvuk raširena dijagnostička metoda i kao što je navedeno bezbolan i neinvazivan, može prouzrokovati neke neželjene termičke i mehaničke efekte kao što su prekomjerno zagrijavanje tkiva i pojava kavitacije. Iz tih razloga sa ultrazvukom treba postupati oprezno i pratiti smjernice o sigurnosti upotrebe ultrazvuka.

Možemo zaključiti da je pojava i proučavanje pojave ultrazvuka donijela velike promjene u svim područjima znanosti i tehnologije, te da će daljnjim razvojem njegova primjena biti još i veća.

# 8. Literatura

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

[2] Henč-Bartolič, V. Valovi i optika : udžbenik fizike za studente Elektrotehničkog fakulteta. Zagreb : Školska knjiga, 2004.

[3] Planinić, J., Osnove fizike III., Valovi – akustika – optika – uvod u atomsku fiziku, Filozofski fakultet Osijek, 2005.

[4] Breyer, B. Medicinski i dijagnostički ultrazvuk, Zagreb : Školska knjiga, 1991.

[5] Allan, P. L., Baxter, G. M., & Weston, M. J. (2011). Clinical ultrasound: Elsevier.

[6] V. Mihljevič, Deklaracija zavara u metalnim šavnim cijevima, diplomski rad, FSB, 2007.

[7] http://nmdos.zesoi.fer.hr/projekt/2006-2007/Frekvencijska karakteristika ljudskog uha/

[8] Applied Piezo, Piezoelectric effect, http://www.applied-piezo.com/about/piezoelectric-effect.php

[9] http://silhouetteconsultants.com/product/Radiology/Ultrasound-machine

[10] http://www.ultrazvuk.hr/klinicka-primjena-ultrazvuka/ginekologija/

[11] http://www.natus.hr/Terapijski%20ultrazvuk

[12] http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-za-pacijente/bolesti-bubrega-i-mokracnih-putova/opstrukcija-zacepljenje-mokracnog-sustava/kamenci-u-mokracnom-sustavu

[13] Zvučna izolacija, Zvuk, http://www.zvucnaizolacija.com/zvuk.pdf

[14] Dive and Doscover, Mapping the Ocean Floor with Echo Sounding, http://www.divediscover.whoi.edu/tools/sonar-singlebeam.html

[15] Koški, Perak, Poboljšanje akustike prostorija apsorpcijskim materijalima i elementima, znanstveni rad, GFOS, 2010.

[16] M.Cejpek, Ultrazvučna kontrola, završni rad, 2016.

[17] Cindro N., Fizika I: Mehanika-valovi-toplina: Školska knjiga 1988.

[18] https://www.geogebra.org/m/eFvxujfV

[19] http://kolegij.fizika.unios.hr/of3/files/2015/02/01-Valovi.pdf

[20] www.os-meterize-si.skole.hr/nastava/predmeti/fizika

# 9. Životopis

Andrea Vukoja rođena je u Osijeku, 25.2.1993. Živi u mjestu Ivanovac pokraj Osijeka. Osnovnu školu završila je u Antunovcu , a nakon toga pohađala je I. Gimnaziju u Osijeku. Trenutno je student  Preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Veliki je ljubitelj životinja i u slobodno vrijeme brine se o svoja četiri psa.