

**58. SREČANJE MLADIH RAZISKOVALCEV
SLOVENIJE**

Zvok pri padanju kovancev

Raziskovalno področje: Fizika

Raziskovalna naloga

Avtorica:

Kristina Vogrin

Mentor:

Jure Pikel

Šola: OŠ Bojana Iliča Maribor

Maribor, april 2024

KAZALO

1	UVOD.....	6
1.1	Namen in cilji raziskave	6
1.2	Predvidevanja	6
1.3	Hipoteze.....	7
2	ZVOK.....	8
2.1	Nastanek zvoka.....	8
2.2	Širjenje zvoka	8
2.3	Vrste zvoka	10
2.4	Glasnost in jakost zvoka.....	12
3	METODOLOGIJA.....	13
4	PRVI POSKUS: KLASIFICIRANJE KOVANECV NA PODLAGI FREKVENČNIH SPEKTROV METOV RAZLIČNIH KOVANECV	14
4.1	Snemanje	15
4.2	Fourierjeva transformacija.....	16
4.3	Rezultati.....	17
4.3.1	Referenčni posnetki.....	17
4.3.2	Vzorčni posnetki kovancev:	19
4.4	Izsledki	21
5	DRUGI POSKUS: VPLIV PODLAGE NA ZVOK OB PADCU KOVANCA	22
5.1	Snemanje	22
5.2	Fourierjeva transformacija.....	22
5.3	Rezultati.....	22
5.4	Izsledki	23
6	TRETJI POSKUS: ZVOK OB PADCU KOVANCA IZ RAZLIČNIH VIŠIN	24
6.1	Snemanje zvoka	24
6.2	Fourierjeva transformacija.....	24

6.3	Rezultati.....	25
6.4	Izsledki	27
7	ČETRTI POSKUS: RAZMERJE PREMERA KOVANCA IN NJEGOVE FREKVENCE 28	
7.1	Zbiranje posnetkov.....	28
7.2	Rezultati.....	28
7.3	Izsledki	29
8	PETI POSKUS: RAZMERJE MASE KOVANCA IN NEGOVE FREKVENCE	30
8.1	Zbiranje podatkov	30
8.2	Rezultati.....	30
8.3	Izsledki	31
9	DRUŽBENA ODGOVORNOST	32
10	ZAKLJUČEK.....	33
11	VIRI.....	34
11.1	Viri slik	34
11.2	Viri:	35
11.3	Elektronski viri	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Valovanje zvoka.....	8
Slika 2: Agregatna stanja snovi in gibanje delcev v njih	9
Slika 3: Gostota zvočnega toka se z razdaljo od izvora zmanjšuje	10
Slika 4: Grafi posameznih vrst zvoka.....	11
Slika 5: Amplitudni odmik opazovane snovi od ravnovesne lege	11
Slika 6: Oblazinjena notranjost škatle, ki sem jo izdelala za izvedbo poskusov	15
Slika 7: Zunanja podoba oblazinjene škatle	16
Slika 8: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 1 cent	17
Slika 9: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 10 centov	17
Slika 10: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 1 €	18
Slika 11: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 2 €	18
Slika 12: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov referenčnih posnetkov.....	19
Slika 13: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 1 cent)	19
Slika 14: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za kovanec vrednosti 10 centov)	20
Slika 15: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 1 evro)	20
Slika 16: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 2 evra)	20
Slika 17: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov vzorčnih posnetkov.....	21
Slika 18: Frekvenčni spekter padca kovanca na les	22
Slika 19: Frekvenčni spekter padca kovanca na steklo	23
Slika 20: Primerjava med frekvenčnim spektrom padca enakega kovanca na les (modra) ter na steklo (rjava)	23
Slika 21: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 5 cm	25
Slika 22: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 10 cm	25
Slika 23: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 20 cm	26
Slika 24: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 30 cm	26
Slika 25: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov (amplitud)	27
Slika 26: Frekvenčni spektri referenčnih posnetkov prvega poskusa	28
Slika 27: Graf odvisnosti premera od lastne frekvence kovanca	2930
Slika 28: Frekvenčni spektri referenčnih posnetkov prvega poskusa	30
Slika 29: Graf odvisnosti mase od lastne frekvence kovanca.....	301

Povzetek

S kovanci smo obdani vsak dan. V svoji raziskovalni nalogi sem raziskovala in s pomočjo računalnika analizirala zvok, ki nastane ob padcu kovanca. V sklopu svoje raziskovalne naloge sem izvedla pet poskusov. Za vse poskuse sem morala zagotoviti enake pogoje in odstraniti vse moteče dejavnike (odboj zvoka). Zato sem izdelala zvočno izolirano škatlo, ki sem jo uporabila za poskuse. Vse poskuse sem izvajala doma, v svoji sobi ob vikendih, ko je bilo najbolj mirno. S prvim poskusom sem odkrivala lastne frekvence kovancev, ko padejo na isto podlago. Pri tem sem uporabila več različnih kovancev. V drugem poskusu sem ugotavljala vpliv podlage na katero pade isti kovanec. S tretjim poskusom sem raziskovala, kako se spremeni zvok, če pade isti kovanec z različnih višin na isto podlago. V četrtem poskusu sem raziskovala razmerje med premerom kovanca in njegove frekvence. V petem poskusu sem raziskovala razmerje med maso kovanca in njegove frekvence.

Zvok, ki je nastal pri poskusih, sem posnela s pomočjo mikrofona na telefonu. Posnetek zvoka pa sem nato obdelala s pomočjo računalnika in ustrezne programske opreme (Fourierova transformacija) ter ga analizirala. V tem delu mi je na pomoč priskočil brat.

Ključne besede: zvok, kovanci, podlaga, frekvenca, amplituda

Zahvala

Zahvalila bi se rada svojemu bratu Niku Uremoviću za vso pomoč pri izvajanju poskusov in obdelavi zvoka na računalniku. Prav tako bi se rada zahvalila staršem za vso podporo pri raziskovanju ter svojemu mentorju Juretu Piklu za usmerjanje in vodenje pri raziskovanju. Zahvalila bi se tudi lektorici Sabini Boršič, ki je nalogo pregledala in obdelala.

1 UVOD

Idejo za raziskovalno nalogo sem dobila med poletjem, ko mi je kup kovancev padel na tla. Padli so različno veliki kovanci in zaslišala sem zanimiv zvok. Zanimalo me je, ali je zvok, ki nastane pri padcu kovanca za 2 evra drugačen od zvoka kovanca za 50 centov. Z mojim vprašanjem sem se obrnila na brata, ki je doktorski študent na področju programiranja. Vedela sem, da bom pri njem našla odgovor. Na kratko mi je razložil, kako se zvok, ki ga slišimo, s pomočjo računalnika analizira in predstavi. Tema, o kateri sva govorila z bratom, se mi je zdela zelo zanimiva in odločila sem se, da želim znanje na tem področju še poglobiti. Takoj, ko se je pričelo novo šolsko leto, sem z idejo o raziskovalni nalogi poiskala učitelja fizike. Učitelj se je z mojo idejo strinjal in me podprl. Tako sem začela z raziskovanjem tega problema in pisanjem naloge.

1.1 Namen in cilji raziskave

Namen moje raziskave je, da ugotovim, ali je mogoče frekvenčne spektre enega meta kovanca pravilno povezati s frekvenčnimi spektri več zaporednih metov kovancev. Poleg tega se želim ob moji raziskavi čim več novega naučiti in se pri tem zabavati, da bo raziskava zanimiva. Cilji moje raziskave so, da jo uspešno zaključim in ugotovim, ali so bila moja predvidevanja pravilna. V raziskovalni nalogi sem izvedla 5 poskusov:

- z iste višine in na isto podlago sem metala različne kovance,
- z iste višine sem metala isti kovanec na različno podlago,
- na isto podlago sem metala isti kovanec z različnih višin,
- raziskovala sem razmerje med premerom kovanca in njegove frekvence s pomočjo posnetkov iz prvega poskusa in
- raziskovala sem razmerje med maso kovanca in njegove frekvence s pomočjo posnetkov iz prvega poskusa.

1.2 Predvidevanja

Moja naloga temelji na raziskovanju in menim, da se bom pri tem ogromno naučila. Predvidevam, da bom izvedela veliko novega o teoriji zvoka. Spoznala in soočila se bom z zvočnim valovanjem, zvočili, frekvencami, hitrostjo zvoka, vrstami zvoka ...

Med raziskavo bom s poskusom izvedela, ali lahko z računalniško obdelavo na podlagi prisotnih frekvenc v posnetku zvoka prepoznamo tip kovanca. Izvedela bom tudi, ali je zvok kovanca ob trku s podlago odvisen od podlage, na katero pristane, in ali je zvok odvisen od

višine, s katere spustimo kovanec. Pred začetkom izvajanja poskusov sem se želela naučiti še nekaj osnov o zvoku.

Pri pregledu objav na spletu in preletu v COBISS-u nisem našla podobnih raziskav ali člankov na to temo.

1.3 Hipoteze

Izvedla sem tri poskuse pri katerih sem ugotavljala kako različni dejavniki vplivajo na zvok, ter dva poskusa, pri katerih sem ugotavljala razmerje med izbrano lastnostjo kovanca in njegovo frekvenco. Za vsak poskus sem postavila različne hipoteze.

1. poskus:

Prva hipoteza: Zaradi različnih materialov in dimenzij kovancev so različne njihove lastne frekvence.

Druga hipoteza: Večji kovanci imajo nižje lastne frekvence kot manjši.

Tretja hipoteza: S Fourierjevo transformacijo lahko prepoznamo tip kovanca na podlagi frekvenc prisotnih v posnetku.

2. poskus:

Četrta hipoteza: Zvok ob padcu kovanca na steklo bo imel višjo frekvenco kot zvok ob padcu kovanca na les.

3. poskus:

Peta hipoteza: Če bo višina enkrat, dvakrat ...večja, bo tudi amplituda zvoka enkrat, dvakrat, ...večja.

Šesta hipoteza: Frekvence zvoka kovanca, ki ga bomo spuščali iz različnih višin, bodo enake.

4. poskus:

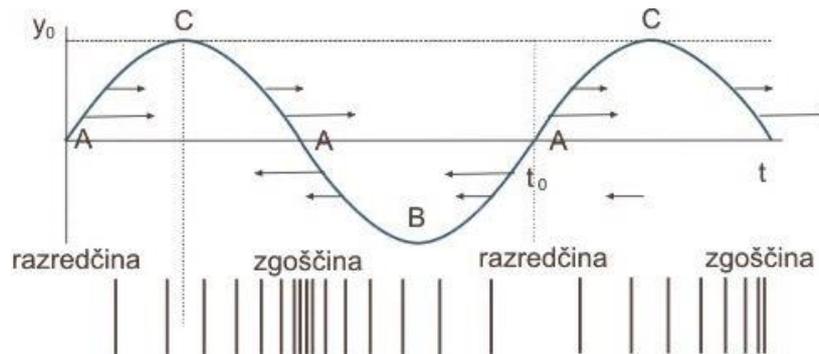
Sedma hipoteza: Večji kot je premer kovanca, nižja bo njegova lastna frekvenca.

5. poskus:

Osma hipoteza: Večja kot je masa kovanca, nižja bo njegova lastna frekvenca.

2 ZVOK

Zvok je longitudinalno ali vzdolžno valovanje, pri katerem delci snovi nihajo v smeri širjenja valovanja. Takšno valovanje snov stiska in redči, zato prihaja do zgoščin in razredčin. Zgoščina nastane tam, kamor se delci snovi približujejo iz obeh strani, razredčina pa tam, od koder se delci snovi oddaljujejo v obe smeri. Valovna dolžina zvoka je oddaljenost med sosednjima zgoščina ali sosednjima razredčinama (Kladnik, 1999).



Slika 1: Valovanje zvoka (https://si.openprof.com/wb/longitudinalno_valovanje_zvoka)

2.1 Nastanek zvoka

Zvok nastane tako, da se zvočilo, ki je naprava za oddajanje zvoka (naše glasilke, struna ...), zatrese. Tresi se prenese na zrak, tako da zračni delci zanihajo, njihovo nihanje pa se razširja po prostoru v vse smeri. Zaznavajo ga sprejemniki zvoka. To so naprave, ki zaznavajo zvok (uho, mikrofoni ...) tako, da nihajoči zrak zadeva ob membrano ali opno sprejemnika, ta pa zaniha. Nihanje membrane se nato prenese naprej, kot izmenični električni tok, ki ima enako frekvenčno sestavo kot merjeni zvok. Človeško uho zaznava nihanja s frekvencami od 20 Hz do 20 kHz. Zvok, ki ima frekvenco manjšo od 20 Hz in ga človeško uho ne zaznava, imenujemo infrazvok. Zvok, ki ima večjo frekvenco od 20 kHz in ga človeško uho prav tako ne zaznava, imenujemo ultrazvok (Kladnik, 1999).

2.2 Širjenje zvoka

Gostota snovi se med valovanjem zvoka spreminja. V zgoščinah je gostota snovi največja, v razredčinah pa najmanjša.

Zaradi zvočnega valovanja se spremeni tudi tlak. Spremembo tlaka zaradi zvočnega valovanja imenujemo zvočni tlak. V zgoščinah je tlak največji, v razredčinah pa najmanjši.

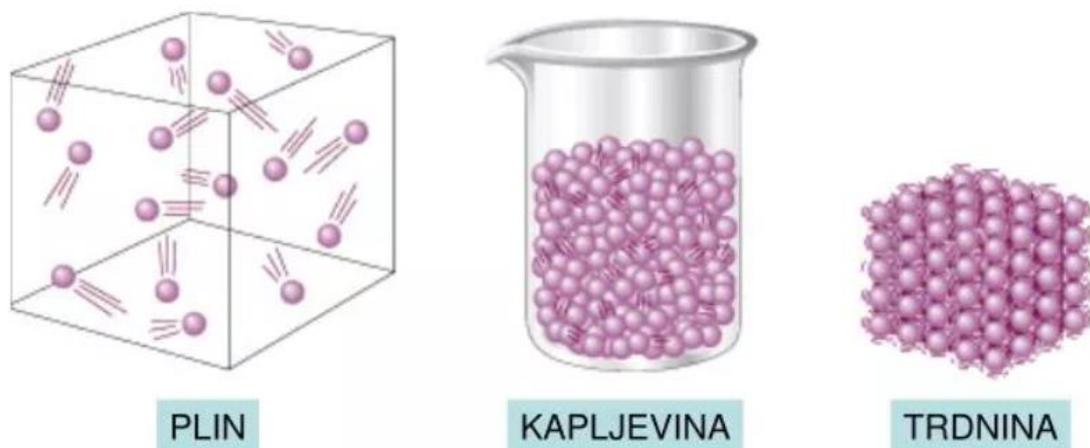
Visokofrekvenčni zvoki povzročajo v snovi večje tlačne spremembe kot nizkofrekvenčni zvoki. Spremembe tlaka, ki jih povzroča zvok, so v gostejši snovi veliko večje kot v redkejši (Kladnik, 1999).

Hitrost zvoka je odvisna od gostote snovi, v kateri nastaja in se širi. Tem manj stisljiva je snov, hitreje se zvok širi. Zato se zvok najpočasneje širi skozi pline, hitreje skozi tekočine in najhitreje skozi trdnine.

Hitrost zvoka je:

- v zraku pri 0 °C: 331 m/s,
- v vodi pri 25 °C: 1400-1500 m/s,
- v železu pri 25 °C: 4900-5000 m/s (Kladnik, 1999, stran 155).

Hitrost zvoka v plinu je večja, če je njegova temperatura višja. Hitrost zvoka je neodvisna od njegove frekvence, kar pomeni, da visokofrekvenčni zvoki potujejo enako hitro kot nizkofrekvenčni zvoki.



Slika 2: Agregatna stanja snovi in gibanje delcev v njih (<https://www.slideserve.com/thanos/tri-agregatna-stanja>)

Z enačbo 1 lahko izračunamo hitrost zvoka ali valovanja na splošno:

$$c = \lambda \nu, \tag{1}$$

pri čemer je c hitrost valovanja, λ valovna dolžina in ν frekvenca (Kladnik, 1999, stran 156).

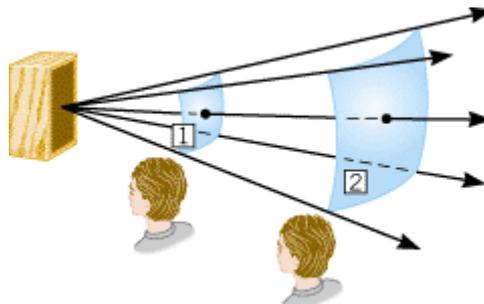
Pretakanje zvočne energije skozi snov imenujemo zvočni tok. Definiramo ga s kvocientom spremembe energije, ki preteče skozi snov, in spremembe časa, v katerem energija preteče skozi snov (Kladnik, 1999, stran 186), kar zapišemo z naslednjo enačbo.

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (2)$$

Zvočni tok, ki ga zvočilo oddaja v vse smeri, imenujemo zvočna moč zvočila. Zvočna moč se razporeja po valovnih frontah. Gostota zvočnega toka se zmanjšuje s kvadratom oddaljenosti od izvora (enačba 3) (Kladnik, 1999).

$$j = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (3)$$

Gostota zvočnega toka (j), je odvisna od zvočnega toka (P) ter obratno sorazmerna s kvadratom razdalje (r) (Kladnik, 1999, stran 188).



Slika 3: Gostota zvočnega toka se z razdaljo od izvora zmanjšuje (https://demo.webassign.net/ebooks/cj6demo/pc/c16/read/main/c16x16_7.htm)

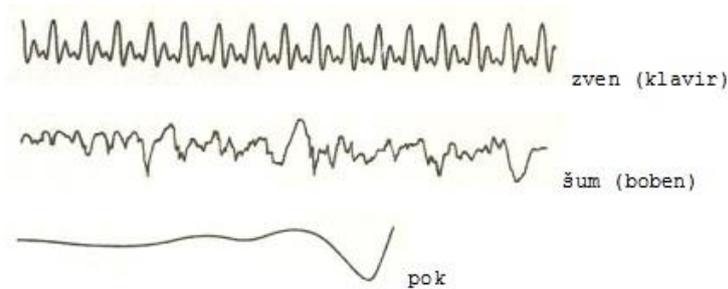
2.3 Vrste zvoka

Poznamo štiri vrste zvoka: fizikalni ton, zven, šum in pok.

Fizikalni ton je ton, ki ima harmonično zvočno valovanje s točno določeno frekvenco. Frekvenca mu določa višino tona, amplituda pa jakost.

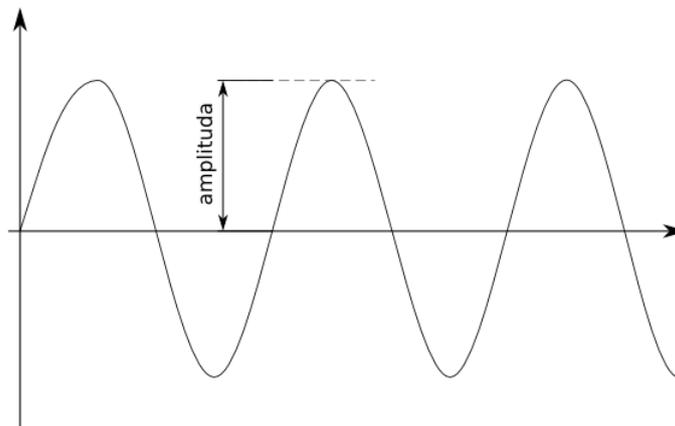
Zven je mešanica tonov, katerih frekvence so celoštevilčni mnogokratniki najnižjega tona-osnovnega tona. Osnovni ton zvena določa višino zvena, ostale višjeharmonične frekvence pa so prisotne, da izboljšajo njegovo barvo. Barva tona je vsota različnih zvočnih valovanj, ki vsebujejo različne frekvence, imenovane alikvotni toni. Razlika med temi toni je zelo majhna in jih ne slišimo posamezno, ampak kot barvo tona. Barva tona je tisto, zaradi česar ločimo enako visok ton pri violini od tistega pri flauti.

Pri šumu se zvočni tlak ne spreminja periodično. Šum je mešanica številnih tonov s hitro spreminjajočimi se frekvencami in jakostmi. Posebna vrsta zvoka je pok, pri katerem zvočni tlak sprva hitro naraste, nato pa bolj ali manj počasi pojenja. Pok ni valovanje, ampak je le močnejša motnja ki se širi skozi snov. (Kladnik, 1999; Štuhec 2007).



Slika 4: Grafi posameznih vrst zvoka (<https://unisfractal.si/dimenzije/>)

Amplituda je pri zvočnem nihanju maksimalen odmik nihajoče količine od ravnovesne lege.



Slika 5: Amplitudni odmik opazovane snovi od ravnovesne lege (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amplituda.png>)

Frekvenca zvoka določa višino tona. Je število nihajev, ki jih nihajoča količina opravi v eni sekundi. Frekvenca se meri v hertzih (Hz). Nihanje ima frekvenco enega hertza, kadar opravi en polni nihaj v eni sekundi. Po enačbi 4

$$v = \frac{n}{t} \tag{4}$$

lahko izračunamo frekvenco zvoka (Štuhec, 2007, stran 100).

2.4 Glasnost in jakost zvoka

Glasnost zvoka je vrednost, kako močno zvok slišimo. Uho je zelo občutljiv organ in zaznava vpadni zvočni tok v zelo širokem razponu. Težko najdemo instrument, ki lahko meri v tako širokem merilnem območju. Glasnost vpeljemo tako, da večja glasnost ustreza izdatnejšemu občutku.

Glasnost zvoka je odvisna od posameznika, saj so nekateri ljudje bolj odporni na glasnost kot drugi. Če je zvok preglasen in moteč, govorimo o hrupu. Glasnost merimo s pomočjo mikrofona in jo izražamo v decibelih.

Jakost zvoka je gostota energijskega toka zvočnega valovanja, torej energija, ki jo valovanje prenese skozi presek enega kvadratnega metra v eni sekundi. Enota za jakost zvoka je fon. Meja slišnosti je približno štiri fone, meja bolečine pa približno 130 fonov. Jakost zvoka lahko izračunamo po spodnji enačbi (enačba 5):

$$j = \frac{1}{2} c \rho \omega s_0^2, \tag{5}$$

pri čemer je c hitrost zvoka, ρ gostota snovi, ω krožna frekvenca in s_0 amplituda odmika delov snovi (Strnad, 1993, stran 95).

3 METODOLOGIJA

Pri vseh treh poskusih sem uporabila enako metodo, tako za izvedbo kot za analizo posameznega poskusa.

Snemanje zvoka

Zvok snemamo z mikrofonom. Mikrofon je naprava, ki pretvarja zvočno valovanje v obliki zgoščenin in razredčin v električni signal s pomočjo opne. Analogno-digitalni pretvornik nato električni signal digitalizira za računalniško obdelavo z dano vzorčevalno frekvenco. Po Nyquistovem teoremu mora biti pri snemanju zvoka vzorčevalna frekvenca vsaj dvakrat večja od najvišje frekvence, ki jo želimo posneti oz. zaznati.

Fourierjeva transformacija

Za prepoznavo frekvenc v zvoku uporabimo Fourierjevo transformacijo. Fourierjeva transformacija nam za vhodni signal (zvočni posnetek), vrne njegov frekvenčni spekter oz. graf frekvenc, ki se v signalu pojavljajo. Natančneje, uporabljamo hitro diskretno Fourierjevo transformacijo. Diskretna pomeni, da deluje na diskretnem signalu (v nasprotju z zveznim), hitra pa opisuje pristop programske implementacije, ki izkorišča vzporedno izvajanje operacij.

4 PRVI POSKUS: KLASIFICIRANJE KOVANECV NA PODLAGI FREKVENČNIH SPEKTROV METOV RAZLIČNIH KOVANECV

Hipoteze:

H1: Zaradi razlike v materialih in velikostih kovancev, so različne njihove lastne frekvence.

Na spletu sem našla sestavo in materiale evrskih kovancev, ki jih bom uporabila pri tem in vseh nadaljnjih poskusih:

- Kovanec za 1 cent

Kovanec za 1 cent je sestavljen iz jekla in prekrit z bakrom. Masa enega centa je 2,30 gramov in njegov premer 16,25 milimetrov. [1]

- Kovanec za 10 centov

Kovanec za 10 centov je sestavljen iz nordijskega zlata, ki je zlitina 89% bakra, 5% aluminija, 5% cinka in 1% kositra. Kovanec za 10 centov ima maso 4,10 gramov. Njegov premer je 19,17 milimetrov. [1]

- Kovanec za 1 euro

Kovanec za 1 euro je zgrajen iz dveh segmentov. Material zunanjšega obroča je medenina iz niklja, notranji segment pa sestavljajo tri plasti in sicer plast iz bakra in niklja, plast iz niklja in znova plast iz bakra in niklja. Masa evrskega kovanca je 7,50 gramov. Njegov premer je 23,25 milimetrov. [1]

- Kovanec za 2 eura

Dvoevrski kovanec je sestavljen iz 2 segmentov. Zunanji srebrni obroč je iz bakra in niklja, notranji zlat krog pa je podobno kot evrski kovanec sestavljen iz treh plasti, in sicer iz plasti medenine iz niklja, plasti niklja in ponovno plast medenina iz niklja. Masa kovanca za 2 evra je 8,50 gramov. Njegov premer je 25,75 milimetrov. [1]

H2: Večji kovanci imajo nižje lastne frekvence kot manjši.

Lastna frekvenca objekta je odvisna od privlačnosti med molekulami snovi. Večje kot so privlačnosti, nižja je frekvenca. Tem trdnjša je snov in tem kompaktnjši je predmet, večja je privlačnost in nižja je frekvenca.

Večji kovanci imajo večji volumen in delci v snovi se bolj privlačijo, zato oddajajo nižjo frekvenco. To velja tudi pri strunah. Debelejša struna oddaja nižje lastne frekvence in tanjša struna višje, saj se v debelejši struni delci bolj privlačijo kot v tanjši struni.

Na lastno frekvenco predmeta vpliva gostota snovi. Delci v gostejši snovi so bolj skupaj, se bolj privlačijo in zaradi tega oddajajo nižje frekvence.

H3: S Fourierjevo transformacijo lahko prepoznamo tip kovanca na podlagi frekvenc prisotnih v posnetku.

4.1 Snemanje

Pripravila sem si kovance za 2 €, 1 €, 10 centov in 1 cent, leseno površino (v mojem primeru leseno mizo) in izdelano zvočno izolirano škatlo. Le to sem izdelala sama tako, da sem navadno kartonsko škatlo po notranjih stranicah oblepila s penjenim izolacijskim materialom debeline 10 mm, ki sem ga kupila v trgovini z gradbeno opremo. Zgornjo in spodnjo stranico sem izrezala, da sem na spodnji strani dobila luknjo za podlago, na katero sem metala kovance, zgoraj pa odprtino, v katero sem kovance lahko metala (slika 6 in 7). Najprej sem uporabila mikrofonski slušalki, ki so bile preko vodnika povezane z računalnikom. Slušalke so imele filter za 7,5 kHz in niso posnele frekvenc višjih od 7,5 kHz. Zato sem padec kovanca posnela s telefonom. Privzeta Androidova aplikacija za snemanje zvoka na telefonu omogoča le vzorčevalno frekvenco 8 kHz, zato sem preko Google Play-a na telefon prenesla aplikacijo Voice Recorder, s katero pa se je dalo vzorčiti frekvenco med 8 kHz in 44 kHz. Aplikacija je dostopna v Trgovini Play

(<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.media.bestrecorder.audiorecorder&hl=en&gl=US>).



Slika 6: Oblazinjena notranjost škatle, ki sem jo izdelala za izvedbo poskusov. Na sliki se vidijo oznake višin, s katerih sem metala kovance (lasten vir).



Slika 7: Zunanja podoba oblazinjene škatle (lasten vir).

Posnela sem več posnetkov, in sicer referenčne posnetke vsakega izmed kovancev. To so posnetki, v katerih sem večkrat zaporedoma vrgla isti kovanec, da sem dobila splošno sliko več metov. Posnela sem tudi vzorčne posnetke vsakega kovanca. To so posnetki, pri katerih sem kovanec vrgla samo enkrat. Vse posnetke sem naložila na računalnik v formatu WAV.

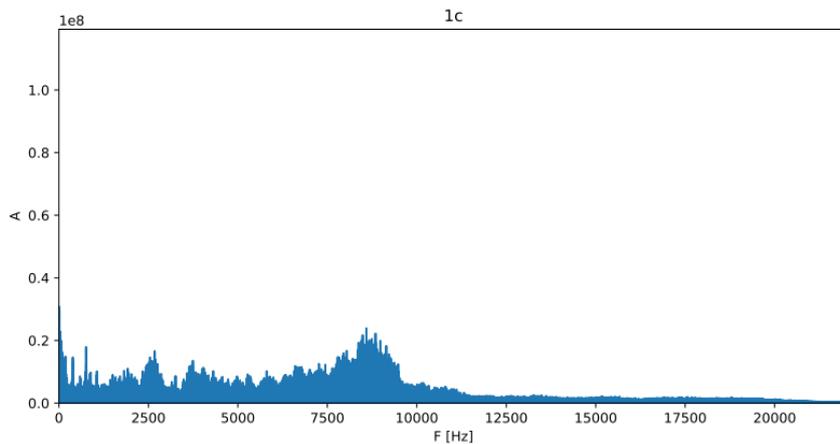
4.2 Fourierjeva transformacija

Z implementacijo hitre fourierjeve transformacije iz knjižnjice Numpy, ki je knjižnjica za programski jezik z veliko izbiro matematičnih funkcij, modul FFT (fast fourier transformation), sem ob programerski pomoči brata nad referenčnimi in izbranim vzorčnim posnetkom izvedla diskretno fourierjevo transformacijo. Vzorčni posnetek sem klasificirala na podlagi primerjave frekvenčnega spektra vzorčnega posnetka s frekvenčnimi spektri referenčnih posnetkov in tako ugotovila, katera dva sta si najbolj podobna oz. pri katerih dveh se vrhovi v frekvenčnem spektru najbolj ujemajo, torej prikazujejo isto lastno frekvenco istega tipa kovanca.

4.3 Rezultati

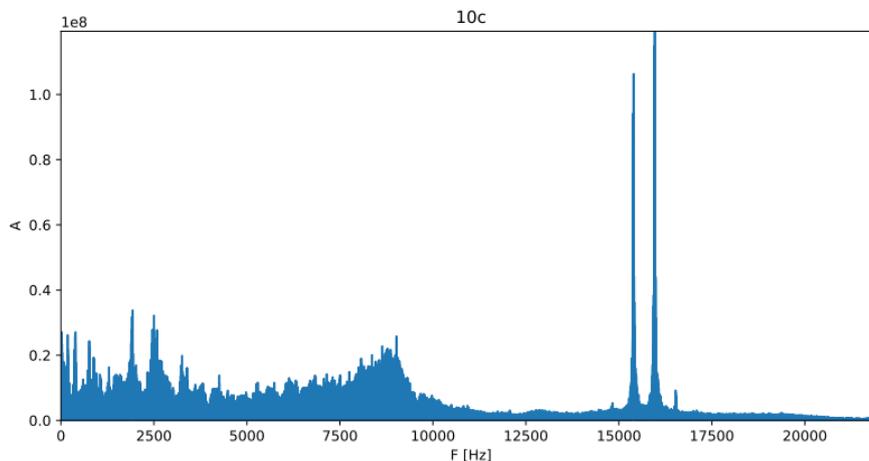
4.3.1 Referenčni posnetki

Rezultati so prikazani na spodnji slikah. Na sliki 8 je prikazan frekvenčni spekter zvoka ob padcu kovanca za 1 cent. Na sliki je viden le šum ob padcu kovanca.



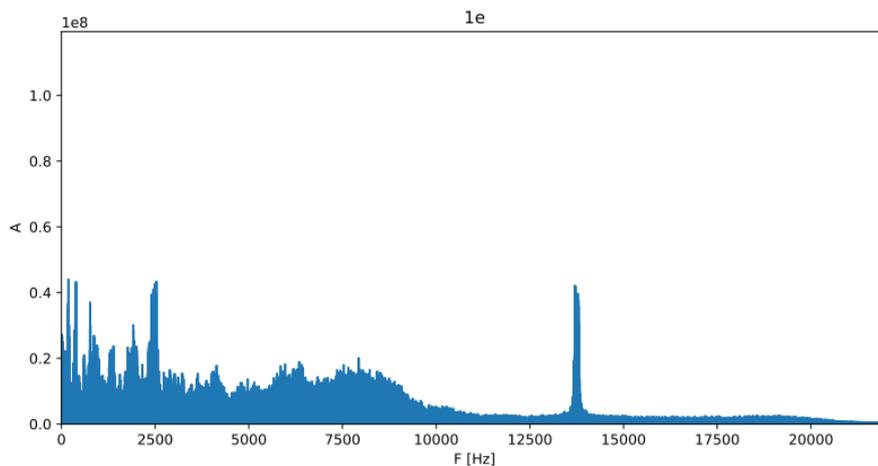
Slika 8: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 1 cent (lasten vir).

Na sliki 9 je predstavljen frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 10 centov. Jasno je viden vrh, torej lastna frekvenca kovanca. Še vedno pa je na frekvenčnem spektru viden šum.



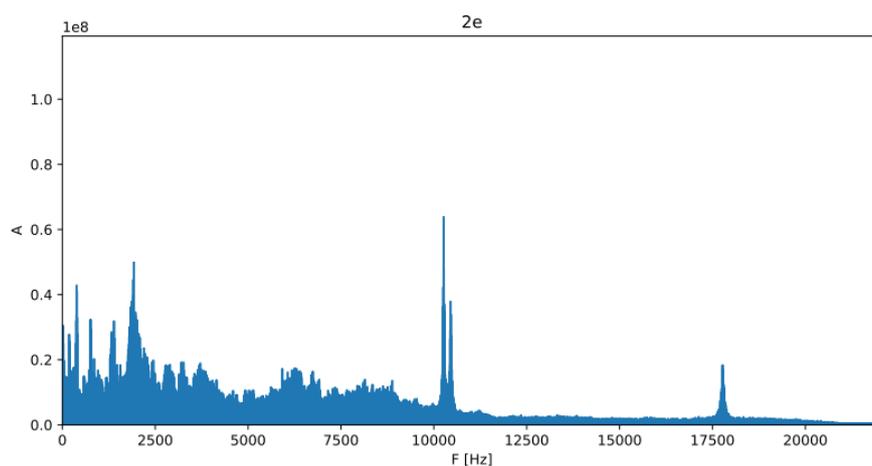
Slika 9: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 10 centov (lasten vir).

Slika 10 prikazuje frekvenčni spekter kovanca za 1 evro, na katerem se vidi vrh med frekvenčnima vrednostma 12500 Hz in 15000 Hz. Viden je tudi nizkofrekvenčen šum.

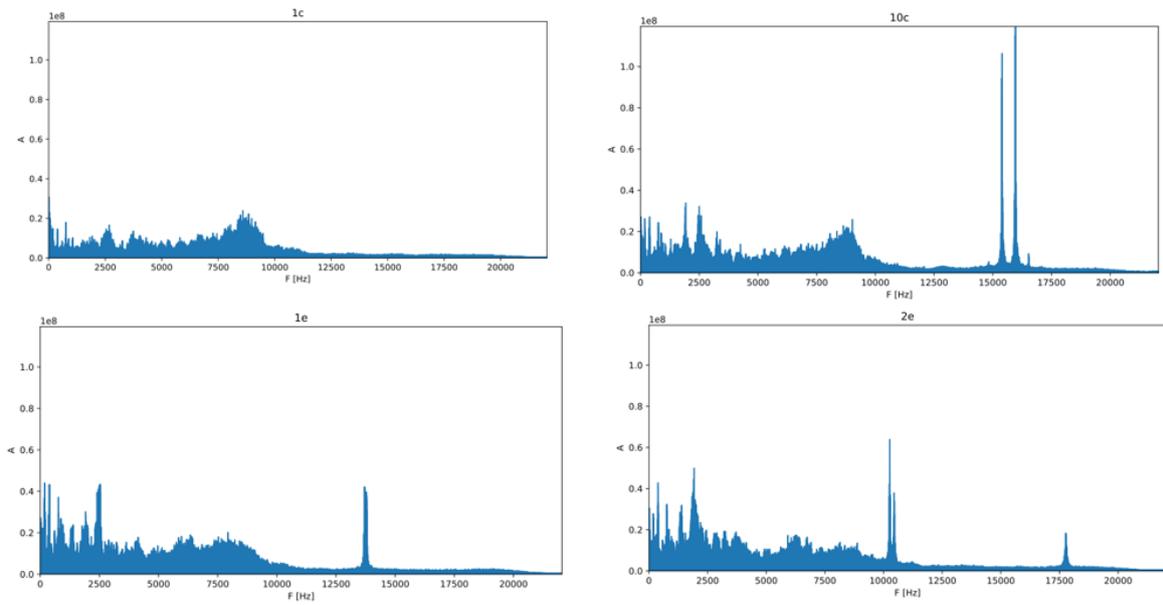


Slika 10: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 1 € (lasten vir).

Na sliki 11 je predstavljen frekvenčni spekter referenčnega posnetka dvoevrskega kovanca. Na njem je nekoliko glasnejši šum kot na prejšnjih spektrih. Iz spektra je možno prebrati tudi lastno frekvenco kovanca.

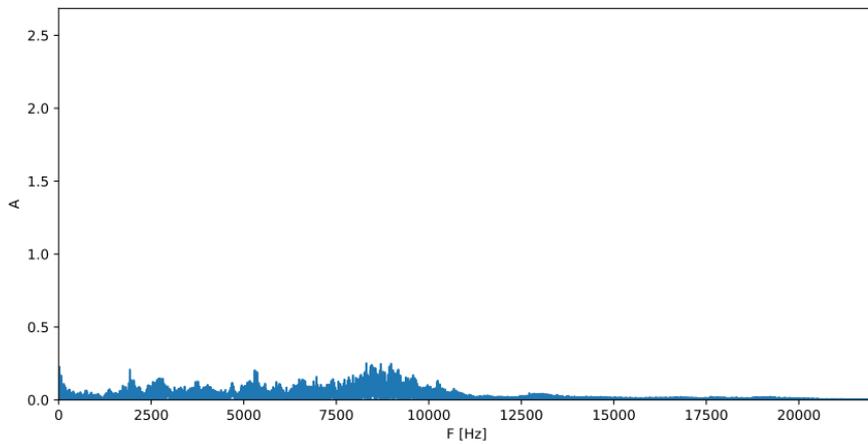


Slika 11: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 2 € (lasten vir).

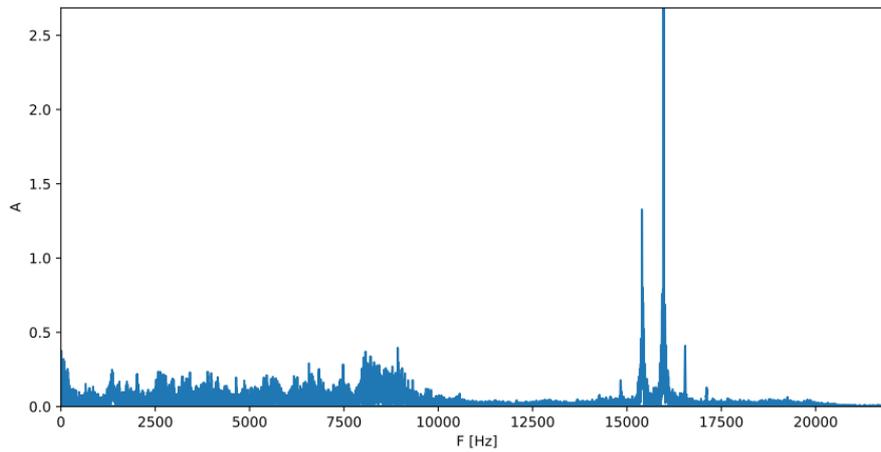


Slika 12: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov referenčnih posnetkov, in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir).

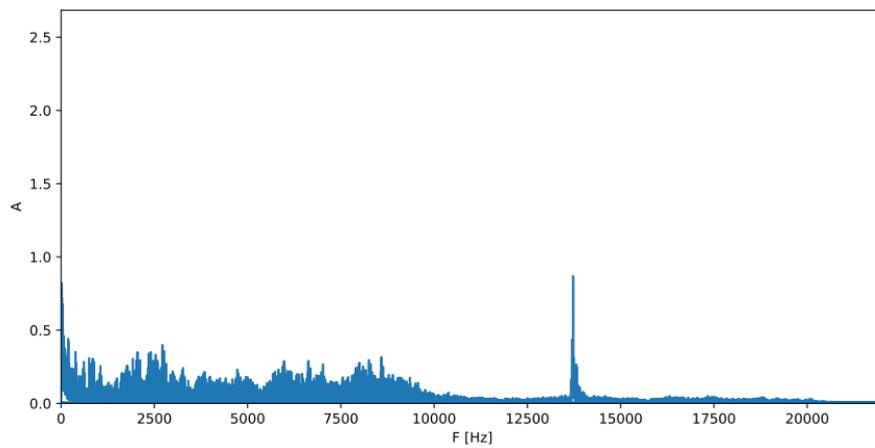
4.3.2 Vzorčni posnetki kovancev:



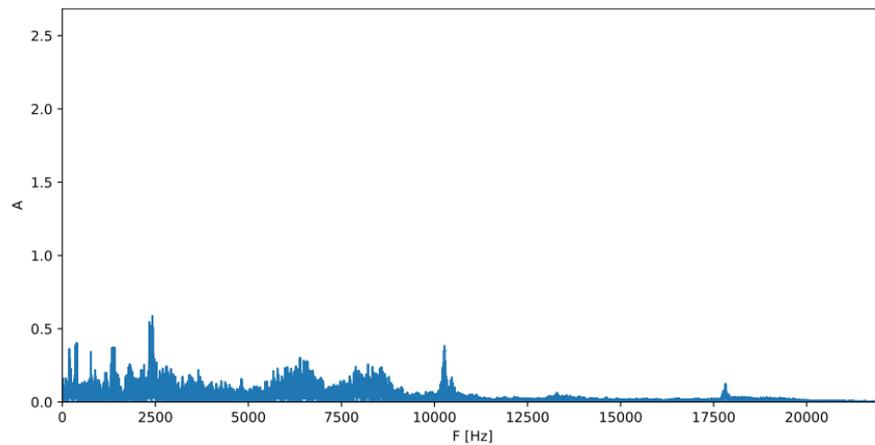
Slika 13: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 1 cent) (lasten vir).



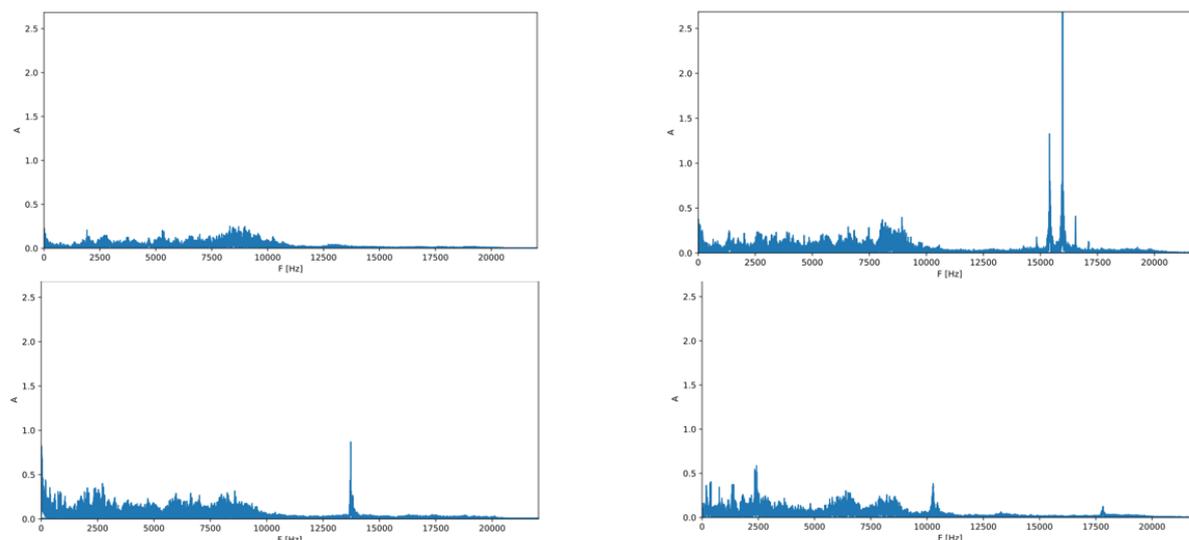
Slika 14: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za kovanec vrednosti 10 centov) (lasten vir).



Slika 15: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 1 evro) (lasten vir).



Slika 16: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 2 evra) (lasten vir).



Slika 17: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov vzorčnih posnetkov in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir).

4.4 Izsledki

H1 je sprejeta. Lastne frekvence kovancev so različne.

- Lastna frekvenca kovanca za 2 € je med 10270 Hz in 10450 Hz.
- Lastna frekvenca kovanca za 1 € je med 13700 Hz in 13800 Hz.
- Lastna frekvenca kovanca za 10 centov je med 15400 Hz in 16000 Hz.
- Lastne frekvence kovanca za 1 cent nismo mogli določiti. V frekvenčnem spektru ni bilo izrazitega vrha. Sklepamo, da je lastna frekvenca kovanca višja od Nyquistove frekvence snemanja (22050Hz, polovica od 44100Hz).

H2 je sprejeta. Večji kovanci imajo nižje frekvence kot manjši.

Na podlagi frekvenčnih spektrov lahko razberemo, da večji kovanci res oddajajo nižjo frekvenco in manjši višjo frekvenco. Največji kovanec, kovanec za 2 € ima lastno frekvenco približno med 10270 Hz in 10450 Hz, medtem ko ima najmanjši kovanec, to je kovanec za 1 cent, višjo frekvenco od vzorčevalne (44100 Hz).

H3 je sprejeta. S Fourierjevo transformacijo lahko prepoznamo tip kovanca na podlagi frekvenc prisotnih v posnetku.

S frekvenčnimi slikami sem lahko določila, kateri referenčni posnetek ustreza izbranemu vzorčnemu posnetku.

5 DRUGI POSKUS: VPLIV PODLAGE NA ZVOK OB PADCU KOVANCA

Hipoteza:

H4: Zvok ob padcu kovanca na steklo bo imel višjo frekvenco kot zvok ob padcu kovanca na les.

5.1 Snemanje

Pri tem eksperimentu sem uporabila le en kovanec. Zanimalo me je, kako podlaga vpliva na zvok padca kovanca. Za ta poskus sem si izbrala kovanec za 1 €. Najprej sem pripravila leseno podlago. Pri tem eksperimentu sem znova uporabila zvočno izolirano škatlo. Eno minuto sem z aplikacijo Voice recorder snemala mete kovanca na leseno mizo. Nato sem leseno podlago zamenjala s steklom (steklena miza) in ponovila celotni postopek. Vse posnetke sem naložila na računalnik v formatu WAV.

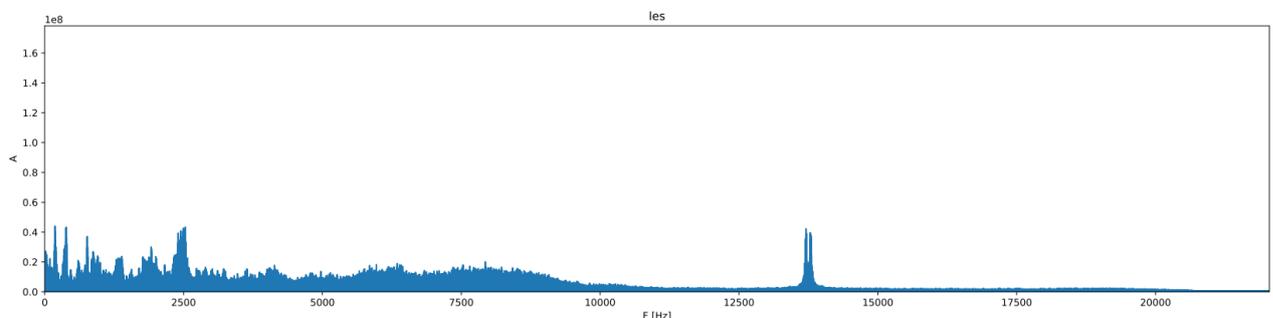
5.2 Fourierjeva transformacija

Z implementacijo hitre fourierjeve transformacije iz knjižnjice Numpy, modul FFT (fast fourier transformation), sem ob programerski pomoči brata nad posnetkoma izvedla diskretno fourirjevo transformacijo.

5.3 Rezultati

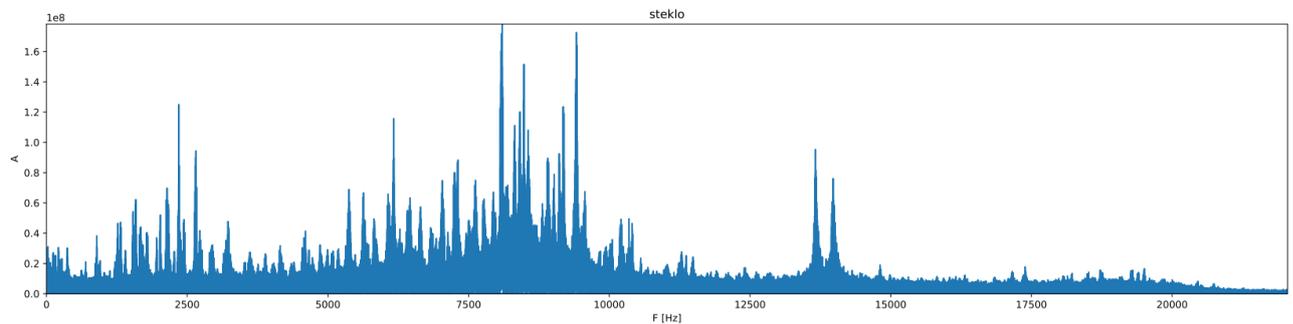
Na spodnjih slikah so prikazani rezultati (frekvenčni spektri) drugega poskusa.

Na sliki 18 je prikazan frekvenčni spekter padca kovanca na les. V posnetku je prisoten šum in lastna frekvenca kovanca.



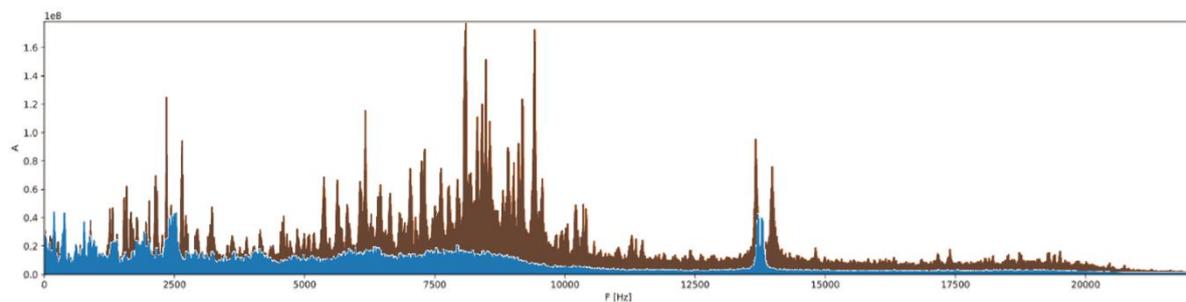
Slika 18: Frekvenčni spekter padca kovanca na les (lasten vir).

Slika 19 predstavlja frekvenčni spekter kovanca, ki je padel na steklo. Na spektru je izrazit glasen šum in lastna frekvenca, ki ima večjo amplitudo od lastne frekvence kovanca, ki je padel na les.



Slika 19: Frekvenčni spekter padca kovanca na steklo (lasten vir).

Primerjava obeh posnetkov z istim kovancem je na sliki 20, kjer se prekrivata frekvenčna spektra padca kovanca na les in padca kovanca na steklo.



Slika 20: Primerjava med frekvenčnim spektrom padca enakega kovanca na les (modra) ter na steklo (rjava) (lasten vir).

5.4 Izsledki

H4 je zavrnjena. Kovanec, ko je padel na les, ima isto frekvenco kot kovanec, ko je padel na steklo. Frekvenca kovanca ni višja, četudi pade na stekleno površino.

V frekvenčnem spektru kovanca, ki je padel na steklo, je zaznati veliko več šuma. Prav tako pa ima lastna frekvenca kovanca, ki je padel na steklo, večjo amplitudo kot lastna frekvenca kovanca, ki je padel na les. Frekvenci se ne razlikujeta.

6 TRETJI POSKUS: ZVOK OB PADCU KOVANCA IZ RAZLIČNIH VIŠIN

Hipotezi

H5: Če bo višina enkrat, dvakrat ... večja, bo tudi amplituda zvoka enkrat, dvakrat ... večja. Spreminjanje višine bo premo sorazmerno s spreminjanjem amplitude.

H6: Frekvence kovanca, ki ga bomo spuščali iz različnih višin, bo enaka.

6.1 Snemanje zvoka

Pri tem poskusu sem morala posneti zvok kovancev ob trku s podlago iz različnih višin. V zvočno izolirani škatli sem izmerila višine, in sicer od dna do izbrane višine, in na notranji strani škatle, ki je bila obložena s penjenim izolacijskim materialom, označila izbrano višino. Izbrala sem naslednje višine: 5 cm, 10 cm, 20 cm in 30 cm. Tokrat sem metala le en kovanec, in sicer kovanec za 1 €.

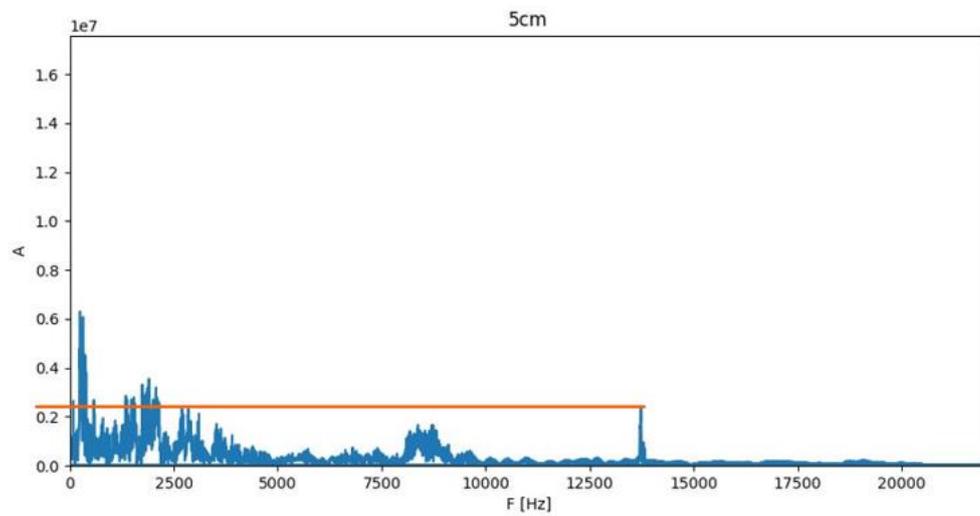
Da sem dobila referenčne posnetke metov kovanca iz različnih višin, sem morala najprej snemati padce kovancev iz vsake višine posebej. Posnela sem le trk kovanca s tlemi, ne pa tudi zven, ki nastane ob odbijanju kovanca.

6.2 Fourierjeva transformacija

Ob programerski pomoči brata sem nad posnetki izvedla diskretno fourirjevo transformacijo, z implementacijo hitre fourierjeve transformacije iz knjižnjice Numpy, modul FFT (fast fourier transformation).

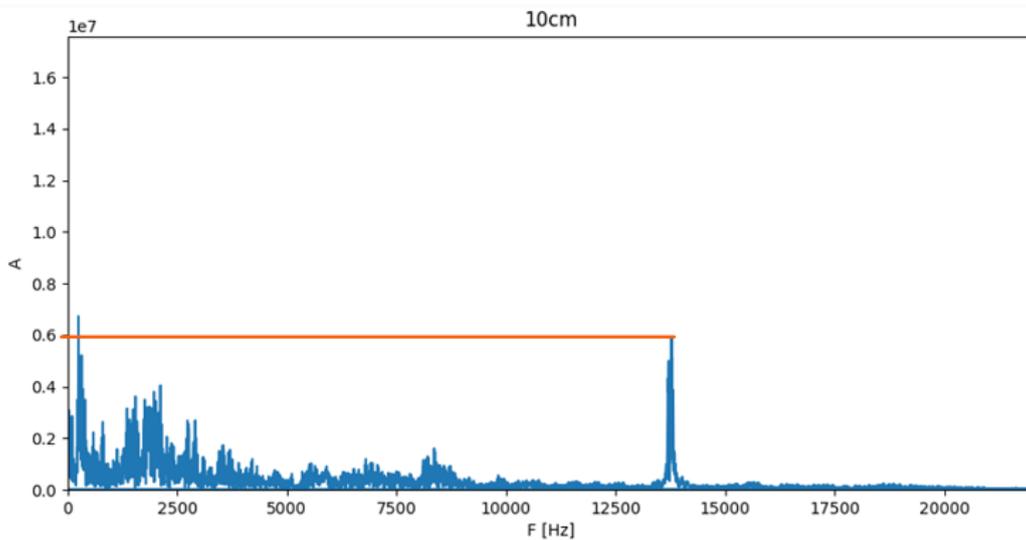
6.3 Rezultati

Slika 21 prikazuje frekvenčni spekter kovanca, ki je padel z višine 5 cm. Amplituda meta kovanca s 5 cm je 0,25.



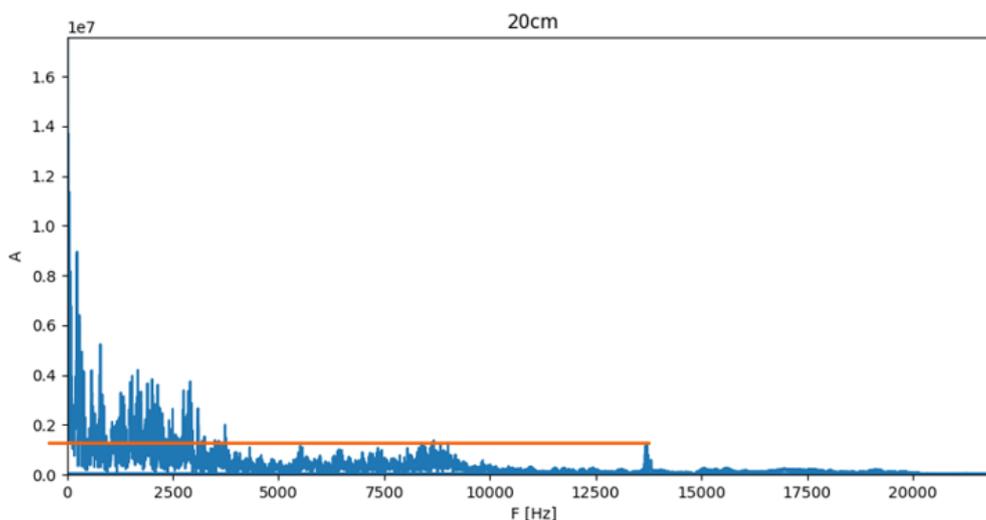
Slika 21: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 5 cm (lasten vir).

Na sliki 22 je prikazan frekvenčni spekter meta kovanca z 10 cm. Viden je višji vrh kot na sliki 21 in malo glasnejši šumi. Amplituda meta kovanca z 10 cm je 0,6.



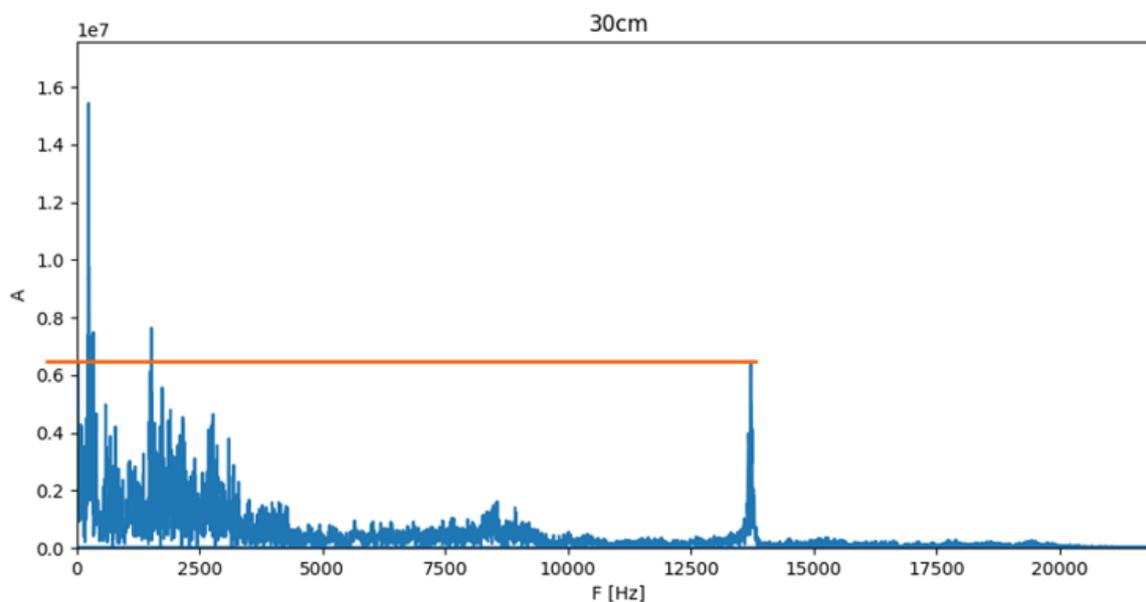
Slika 22: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 10 cm (lasten vir).

Na sliki 23 je frekvenčni spekter meta kovanca z 20 cm. Viden je zelo nizek vrh. Amplituda meta kovanca z 20 cm je 0,125.

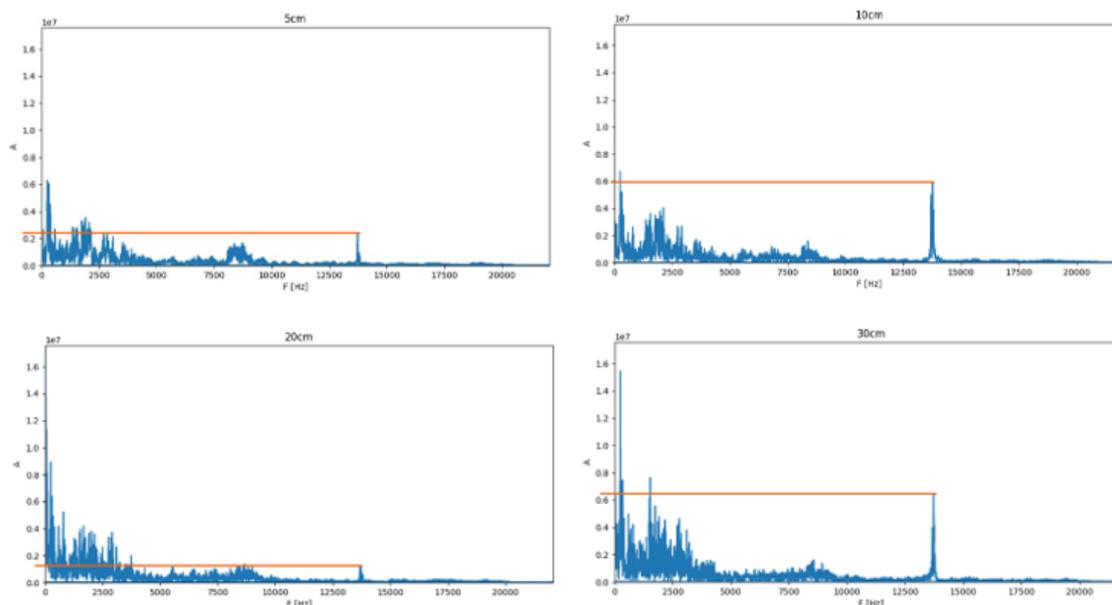


Slika 23: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 20 cm (lasten vir).

Slika 24 prikazuje frekvenčni spekter meta kovanca s 30 cm. Videti je zelo glasne, nizkofrekvenčne šume in vrh med 12500 Hz in 15000 Hz. Amplituda meta kovanca s 30 cm je 0,65.



Slika 24: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 30 cm (lasten vir).



Slika 25: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov (amplitud) kovanca za 1 € in sicer zgoraj levo s 5 cm, zgoraj desno z 10 cm, spodaj levo z 20 cm in spodaj desno s 30 cm (lasten vir).

6.4 Izsledki

H5 je zavrnjena. Ko smo višino povečali, se amplituda zvoka ni povečala premo sorazmerno.

V moji rezultatih je moč opaziti celo to, da z večanjem razdalje od kovanca do podlage amplituda ne narašča, ampak vmes celo pade. Dejstvo je, da zvok kovanca, ki pade z dvakrat višje razdalje nima dvakrat večje amplitude, ampak je njegova amplituda nekoliko manjša. Torej vseeno narašča, vendar ne sorazmerno. Predvidevam, da je do odstopanja pri mojih rezultatih prišlo zaradi napak in motenj pri snemanju ter analizi zvoka.

H6 je sprejeta. Frekvence kovancev, ki smo jih spuščali iz različnih višin, so enake.

S spreminjanjem višine, s katere spustimo kovanec, se ne spremeni frekvenca zvoka, ki nastane ob trku kovanca ob tla.

7 ČETRTE POSKUS: RAZMERJE PREMERA KOVANCA IN NJEGOVE FREKVENCE

Hipoteza

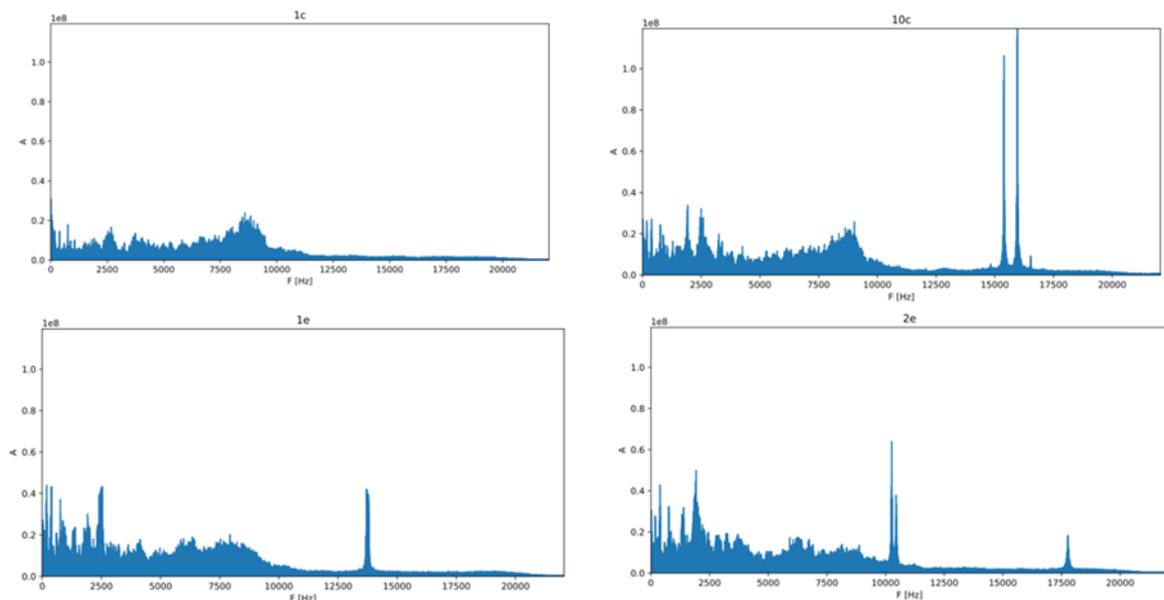
H7: Večji kot je premer kovanca, nižja je njegova lastna frekvenca.

7.1 Zbiranje posnetkov

Pri poskusu so me zanimale lastne frekvence kovancev in njihovi premeri. Do lastnih frekvenc kovancev sem prišla že pri prvem poskusu, ko sem snemala referenčne posnetke. Zato sem za ta pokus uporabila že pridobljene posnetke prvega poskusa. S premeri kovancev pa sem se tudi že seznanila v sklopu prvega poskusa, ko sem raziskovala materiale kovancev, njihovo maso ter premer. Ugotovila sem, da je:

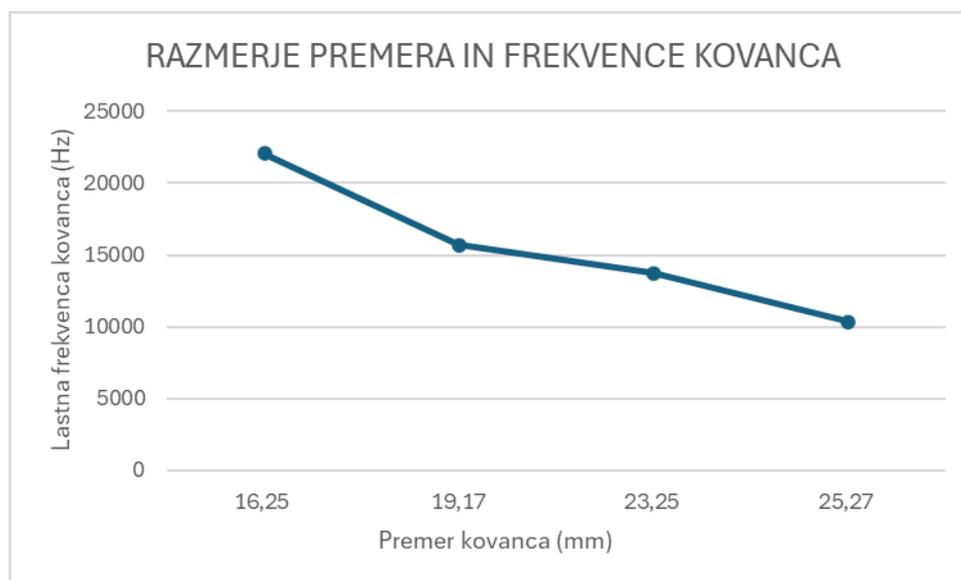
- Premer kovanca za 1 cent 16,25 mm,
- Premer kovanca za 10 centov 19,17 mm,
- Premer kovanca za 1 € 23,25 mm in
- Premer kovanca za 2€ 25,75 mm.

7.2 Rezultati



Slika 26: Frekvenčni spektri referenčnih posnetkov prvega poskusa, in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir).

S pomočjo računalniškega programa Excel sem zbrane podatke obdelala in jih prikazala s pomočjo grafa. Graf 1 prikazuje, kako premer kovanca vpliva na njegovo lastno frekvenco.



Slika 27: Graf odvisnosti premera od lastne frekvence kovanca (lasten vir).

7.3 Izsledki

H7 je sprejeta. Kovanec z večjim premerom ima nižjo lastno frekvenco, kot kovanec z manjšim premerom.

Iz grafa 1, ki prikazuje odvisnost premera od lastne frekvence kovanca, lahko razberemo, da lastna frekvenca kovanca z večanjem premera kovanca pada. S tem podatkom lahko potrdimo hipotezo, da se z večanjem premera kovanca zmanjšuje njegova lastna frekvenca.

8 PETI POSKUS: RAZMERJE MASE KOVANCA IN NEGOVE FREKVENCE

Hipoteza

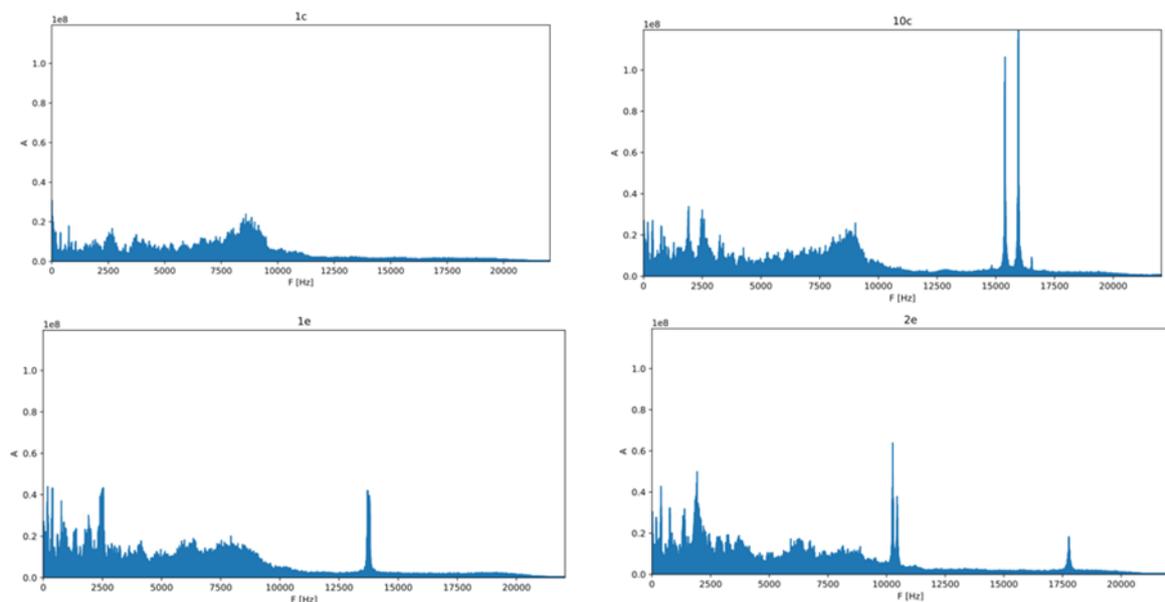
H8: Večja kot je masa kovanca, nižja je njegova lastna frekvenca.

8.1 Zbiranje podatkov

Za poskus sem znova uporabila referenčne posnetke prvega poskusa, saj sem potrebovala njihove lastne frekvence in maso kovanecv. Maso kovanecv sem tudi raziskala v prvem poskusu in odkrila sem, da je:

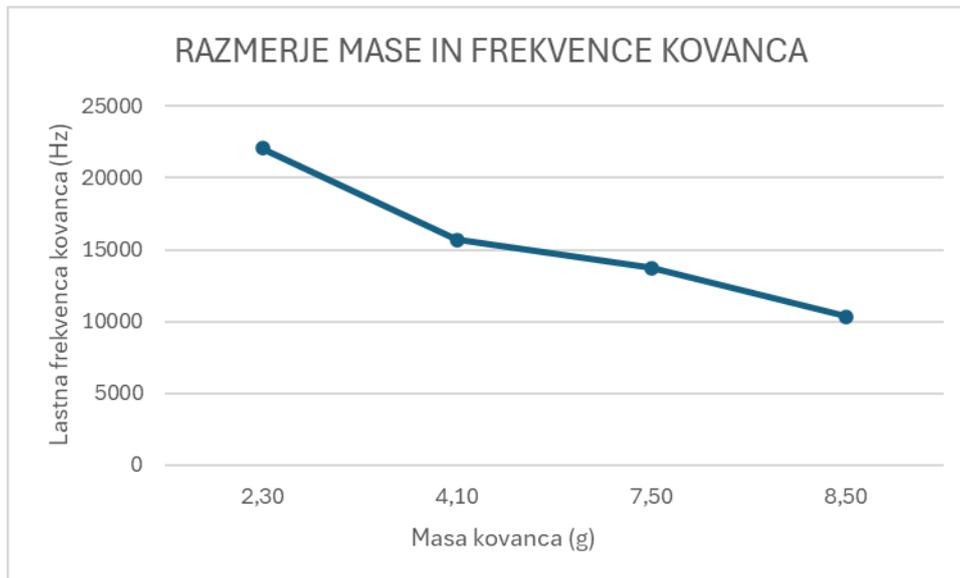
- Masa kovanca za 1 cent 2,30 g,
- Masa kovanca za 10 centov 4,10 g,
- Masa kovanca za 1€ 7,50 g in
- Masa kovanca za 2€ 8,50 g.

8.2 Rezultati



Slika 28: Frekvenčni spektri referenčnih posnetkov prvega poskusa, in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir).

Pridobljene podatke sem prenesla v računalniški program Excel, kjer sem jih obdelala in prikazala pomočjo grafikona. Graf 2 prikazuje, kako se frekvenca kovanca spreminja s spreminjanjem njegove mase.



Slika 29: Graf odvisnosti mase od lastne frekvence kovanca (lasten vir).

8.3 Izsledki

H8 je sprejeta. Kovanec z večjo maso ima nižjo lastno frekvenco, kot kovanec z manjšo maso.

Iz grafa 2, ki prikazuje odvisnost mase od lastne frekvence kovanca, je moč razbrati, da lastna frekvenca kovanca pada, z večanjem mase kovanca. S pomočjo grafa lahko potrdimo H8, ki pravi, da imajo kovanci z večjo maso nižje lastne frekvence kot kovanci z manjšo maso.

9 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Človek je v vsakdanjem življenju ves čas obkrožen z zvokom. Absolutne tišine skoraj ni možno več najti. Spoznanje, da je možno zvok spremeniti v vizualno podobo, odpira ideje o vizualizaciji zvoka, ki je še posebej dobrodošla za gluhe in naglušne ljudi.

Frekvenčni spekter zvoka bi lahko na primer uporabili v avtomatih, pri katerih se plačuje s kovanci, saj bi kot alternativno metodo uporabili frekvenčni spekter za prepoznavo velikosti oz. vrednosti kovanca. Na enak način bi lahko delovala naprava za štetje kovancev in izračun njihovih vrednosti na podlagi zvoka.

Zagotovo obstaja še veliko načinov, kako bi lahko z vizualizacijo zvoka izboljšali kakovost naših življenj. Primer bi bil »semafor glasnosti« kateri bi vizualno ali zvočno opominjal učence v učilnici, ko so preglasni.

10 ZAKLJUČEK

V raziskavi sem potrdila hipotezo, da je mogoče z algoritmom Fourierjeve transformacije iz zvočnih posnetkov metov kovancev sklepati o fizikalnih lastnostih kovancev. To sem storila s sprejetjem hipotez H1, H2 in H3, kjer sem na podlagi primerjave frekvenčnih spektrov različnih kovancev ugotovila, da imajo različni kovanci različne lastne frekvence. Ugotovila sem, da imajo večji kovanci nižje lastne frekvence ter da je iz posameznega frekvenčnega spektra posnetka, na podlagi primerjave z referenčnimi frekvenčnimi spektri, možno ugotoviti, za kateri kovanec gre. V raziskavi sem zavrgla hipotezo H4. Napačna predpostavka je temeljila na izkušnji, da kovanci zvenijo drugače, če padejo na različne površine. Pokazala sem, da je drugačen zven rezultat zvenenja materiala podlage in da se frekvenca kovanca ne spremeni. Zavrgla sem tudi H5, saj višina, s katere pade kovanec, ni premo sorazmerna z amplitudo, ki nastane ob padcu kovanca. Moje predvidevanje H6 sem lahko sprejela, ker so bile frekvence kovancev, ki so padali iz različnih višin, enake. Ugotovitev, da z večanjem mase in premera kovanca pada njegova lastna frekvenca, sem sprejela s hipotezama H7 in H8. Vse ugotovitve in z njimi napake so rezultat lastnega raziskovalnega dela.

11 VIRI

11.1 Viri slik

Slika 1: Valovanje zvoka (dostopno na https://si.openprof.com/wb/longitudinalno_valovanje_zvoka , 9. 9. 2023)	8
Slika 2: Agregatna stanja snovi in gibanje delcev v njih (dostopno na: https://www.slideserve.com/thanos/tri-agregatna-stanja , 12. 9. 2023).....	9
Slika 3: Gostota zvočnega toka se z razdaljo od izvora zmanjšuje (dostopno na: https://demo.webassign.net/ebooks/cj6demo/pc/c16/read/main/c16x16_7.htm , 23. 1. 2024) .	10
Slika 4: Grafi posameznih vrst zvoka (dostopno na: https://unisfractal.si/dimenzije/ , 10. 7. 202)	11
Slika 5: Amplitudni odmik opazovane snovi od ravnovesne lege (dostopno na: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amplituda.png , 10. 7. 2023)	11
Slika 6: Oblazinjena notranjost škatle, ki sem jo izdelala za izvedbo poskusov. Na sliki se vidijo oznake višin, s katerih sem metala kovanice (lasten vir).....	15
Slika 7: Zunanja podoba oblazinjene škatle (lasten vir).....	16
Slika 8: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 1 cent (lasten vir).	17
Slika 9: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 10 centov (lasten vir).	17
Slika 10: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 1 € (lasten vir).....	18
Slika 11: Frekvenčni spekter referenčnega posnetka kovanca za 2 € (lasten vir).....	18
Slika 12: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov referenčnih posnetkov, in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir)....	19
Slika 13: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 1 cent) (lasten vir).	19
Slika 14: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za kovanec vrednosti 10 centov) (lasten vir).	20
Slika 15: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 1 evro) (lasten vir).	20
Slika 16: Frekvenčni spekter vzorčnega posnetka (za 2 evra) (lasten vir).	20
Slika 17: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov vzorčnih posnetkov in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir).	21
Slika 18: Frekvenčni spekter padca kovanca na les (lasten vir).....	22
Slika 19: Frekvenčni spekter padca kovanca na steklo (lasten vir).....	23
Slika 20: Primerjava med frekvenčnim spektrom padca enakega kovanca na les (modra) ter na steklo (rjava) (lasten vir).....	23
Slika 21: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 5 cm (lasten vir).....	25

Slika 22: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 10 cm (lasten vir).....	25
Slika 23: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 20 cm (lasten vir).....	26
Slika 24: Frekvenčni spekter meta kovanca iz 30 cm (lasten vir).....	26
Slika 25: Primerjava vseh štirih frekvenčnih spektrov (amplitud)kovanca za 1 € in sicer zgoraj levo s 5 cm, zgoraj desno z 10 cm, spodaj levo z 20 cm in spodaj desno s 30 cm (lasten vir).	27
Slika 26: frekvenčni spektri referenčnih posnetkov prvega poskusa, in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir).	28
Slika 27: Graf odvisnosti premera od lastne frekvence kovanca (lasten vir).	2930
Slika 28: frekvenčni spektri referenčnih posnetkov prvega poskusa, in sicer zgoraj levo 1 cent, zgoraj desno 10 centov, spodaj levo 1 evro in spodaj desno 2 evra (lasten vir).	30
Slika 29: Graf odvisnosti mase od lastne frekvence kovanca (lasten vir).	301

11.2 Viri:

Kladnik Rudolf. 1999. Energija, toplota, zvok, svetloba: Fizika za srednješolce 2. 6. izd.
Ljubljana: DZS

Štuhec Matjaž. 2007. Fizika (Zbirka Tematski leksikon). Tržič: Učila International

Strnad Janez. 1993. Atlas klasične in moderne fizike. Ljubljana: DZS

11.3 Elektronski viri

[1] https://www.bcl.lu/en/Banknotes-and-Coins/billets_pieces/car_pieces/car_tec/index.html