

RAZISKOVALNA NALOGA

KAKO LEPO ZVENIMO

FIZIKA IN ASTRONOMIJA

Ljubljana, marec 2022



Osnovna šola dr. Vita Kraigherja

Trg 9. Maja 1

1000 Ljubljana

KAKO LEPO ZVENIMO

FIZIKA IN ASTRONOMIJA

RAZISKOVALNA NALOGA

AVTORICI: Anelija Perše in Frančeska Perše, 9. razred

MENTORICA: Marisol LANGO KASTELIC

2022

KAZALO

1. UVOD	7
1.1 OPIS PROBLEMA – MOTIVACIJA	7
1.2 HIPOTEZE	8
2. TEORETIČNI DEL	9
2.1 STEKLO	9
2.2 KOZARCI	10
2.3 ZVOK IN TON	11
2.3.1 TON	11
2.3.2 ZVOK	12
2.3.3 RAZLIKA MED TONOM IN ZVOKOM	12
2.3.4 USTVARJANJE ZVOKA	13
2.3.5 USTVARJANJE TONA	13
2.4 TRENJE	14
2.5 VISKOZNOST TEKOČIN	15
2.6 USTVARJANJE ZVOKA S KOZARCI	16
2.6.1 ZGODOVINA	16
2.6.2 FIZIKALNE OSNOVE IN PRETEKLE RAZISKAVE	17
3. EKSPERIMENTALNI DEL	19
3.1 UPORABLJENI PRIPOMOČKI	19
3.2 IZBRANE SNOVI	22
3.3 EKSPERIMENTALNE METODE	22
3.3.1 USTVARJANJE ZVOKA	22
3.3.2 DOLOČANJE TONOV IN FREKVENC	22
3.3.3 DOLOČANJE HITROSTI DRSENJA PRSTA PO ROBU KOZARCA	23
4. REZULTATI	24
4.1 GOSTOTA IZBRANIH SNOVI	24

4.2 DIMENZIJSKE ZNAČILNOSTI KOZARCEV	24
4.3 USTVARJANJE ZVOKA	25
4.3.1 VPLIV OBLIKE KOZARCA	25
4.3.2 VPLIV VOLUMNA SNOVI V KOZARCU	29
4.3.3 VPLIV FIZIKALNIH LASTNOSTI SNOVI V KOZARCU	30
4.3.4 VPLIV HITROSTI DRSENJA PRSTA	33
4.3.5 VPLIV VISKOZNOSTI TEKOČINE, S KATERO OMOČIMO PRST	33
4.3.6 USTVARJANJE GLASBE	34
5. RAZPRAVA	35
6. ZAKLJUČKI	38
7. VIRI IN LITERATURA	40

KAZALO SLIK

Slika 1: Večbarvno steklo [2]

Slika 2: Termična obdelava stekla [2]

Slika 3: 12 tonov, prikazanih na klaviaturi. [6]

Slika 4: Shematični prikaz valovanja: A) vzdolžno valovanje in B) prečno valovanje. [10]

Slika 5: Fotografije nekaterih glasbil: A) godala [20], B) kitara [21], C) ksilofon [22], D) pihala [23], E) rog [24], F) klavir [25].

Slika 6: Drsenje prsta po robu kozarca [Osebni arhiv]

Slika 7: Prikaz trenja [26]

Slika 8: Franklinova steklena harmonika (»Glass armonika«). [29]

Slika 9: Uporabljeni kozarci [Osebni arhiv]

Slika 10: Uporabljeni pripomočki: A) kuhinjska tehtnica, B) pomično ravnilo in C) merilni valj [Osebni arhiv]

Slika 11: Uporabljeni pripomočki za določanje tonov: A) klavir, B) aplikacija za mobilne telefone Soundcorset Tuner, C) aplikacija za mobilne telefone Sound Frequency Analyzer [Osebni arhiv]

Slika 12: Vpliv vrste tona od frekvence nihanja zvoka (povzeto po [31]).

Slika 13: Odvisnost frekvence od značilnosti pecljev: vpliv A) najožjega premera peclja in B) višine peclja. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

Slika 14: Odvisnost frekvence od volumna kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

Slika 15: Odvisnost frekvence od globine kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 – velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

Slika 16: Odvisnost frekvence od debeline stene kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

Slika 17: Odvisnost frekvence od notranjega premera kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

Slika 18: Vpliv volumna vode v kozarcu 1 (velik) na frekvenco ustvarjenega zvoka.

Slika 18: Vpliv volumna različnih snovi v kozarcu 1 (velik) na frekvenco in ton ustvarjenega zvoka.

Slika 19: Vibracije na gladini vode pri ustvarjanju zvoka.

Slika 20: Različni kozarci z različno količino vode za lestvico od C1 do C2. [Osebni arhiv]

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prikaz gostote uporabljenih snovi

Tabela 2: Oznake, poimenovanja in dimenzijske karakteristike uporabljenih kozarcev, ki so prikazani na sliki 9.

Tabela 3: Frekvenca in ton pri različnih praznih kozarcih, ki so prikazani na sliki 9.

Tabela 4: Izmerjene vrednosti frekvence in tona pri različnih volumnih vode v velikem kozarcu (kozarec 1)

Tabela 5: Izmerjene vrednosti frekvence in tona pri različnih volumnih različnih snovi v kozarcu 1.

Tabela 6: Določitev hitrosti drsenja prsta po robu kozarca 1

POVZETEK

Glasba je pomemben del v življenju večine ljudi. Tudi sami radi pojeva in igrava različna glasbila, zato pogosto poskušava zvok izvabiti iz različnih predmetov, tako da nanje brenkava ali udarjava z različnimi predmeti. Tako sva nekega dne v restavraciji dolgočas preganjali z drsenjem mokrega prsta po robu kozarca. Pri tem je nastal lep zvok, ki naju je privedel do vprašanj, kot so: kaj vpliva na višino tega tona, ali je ton odvisen od oblike kozarca, ali je odvisen tudi od snovi, ki je v kozarcu, ali mora biti prst omočen z vodo, ali lahko zvok dobimo tudi, če je prst suh ali omočen s kakšno drugo tekočino.

V iskanju odgovorov na zastavljena vprašanja je nastala raziskovalna naloga, v kateri sva uporabili kozarce različnih oblik in snovi z različnimi fizikalnimi lastnostmi. Pri tem sva ustvarjen zvok ovrednotili s frekvenco in višino tona, ki sva ju določili s pomočjo mobilnih aplikacij oziroma posluha in domačega klavirja. Za eksperimente sva uporabili kozarce z različnimi oblikami. Da bi določili vpliv oblike na višino tona sva vsakemu kozarcu izmerili njegove dimenzije (volumen, višina pečlja, notranji premer na zgornjem robu kozarca, premer najožjega dela pečlja, globina kozarca, debelina stene kozarca). Za določevanje vpliva fizikalnih lastnosti snovi v kozarcu sva uporabili tekočine (vodo, pomarančni sok in detergent za pomivanje posode) in trdne snovi (moko in riž). Vsaki od izbranih snovi sva določili gostoto.

Rezultati so pokazali, da na višino tona oziroma frekvence, ki ju ustvarimo z drsenjem mokrega prsta po robu kozarca, vpliva oblika kozarca oziroma različne dimenzije kozarca, volumen snovi, ki jo dodamo v kozarec in fizikalne lastnosti snovi v kozarcu. Po drugi strani pa na višino tona ne vpliva hitrost drsenja prsta po robu kozarca, pri čemer pa je zelo pomembno, s katero tekočino omočimo prst. Tekočina mora biti ravno dovolj viskozna, da pride do trenja, ki povzroči vibracije sten kozarca, kar slišimo kot zvočno valovanje.

KLJUČNE BESEDE: zvok, ton, kozarec, frekvenca, trenje

ZAHVALA

Za sodelovanje bi se radi zahvalili mentorici gospe Marisol Lango Kastelic, ki nama je omogočila raziskovanje, naju ves čas vzpodbujala, usmerjala in kazala pravo pot. Posebna zahvala gre tudi staršem in starejši sestrici, ki so naju potrpežljivo poslušali, ko sva ustvarjali zvok z različnimi kozarci.

1. UVOD

1.1 OPIS PROBLEMA – MOTIVACIJA

Kot sestri dvojčici sva se vedno dobro razumeli in večino stvari počeli skupaj. Skupaj sva se igrali, učili in preživljali svoj prosti čas. Od vsega nama je obema najljubša glasba, zato so naju starši pred osmimi leti vpisali v glasbeno šolo. Ena se je odločila za igranje klavirja, druga za violončelo. Kadar le najdeva čas, sedeva za instrumente in vadiva, zelo radi igrava tudi skupaj, še raje pa zraven zapojeva.

Od kar smo v osmem razredu dobili nov predmet, fiziko, sva se začeli bolj zavedati življenja okoli sebe. V tem predmetu zelo uživava, saj nama pomaga razumeti različne pojave in naravne zakonitosti. Raziskovalno nalogo sva pripravili že lansko leto in tudi letos sva komaj čakali na novo priložnost. Že dolgo sva razmišljali, da bi radi povezali fiziko in glasbo.

Idejo za raziskovanje novih področij sva dobili čisto po naključju, ko smo bili z družino na kosilu v neki restavraciji. Obe sva kosilo že pojedli, odrasli pa so se še vneto pogovarjali. Postalo nama je dolgčas, zato sva se začeli igrati s kozarci, v katerih je bila voda. Pomočili sva prst v vodo in delali kroge po robu kozarca. Zelo hitro se je zaslišal lep in glasen zvok, ki pa je bil v enem kozarcu malo višji, v drugem pa nekoliko nižji. Takoj se nama je porodilo vprašanje: zakaj je prišlo do različnega tona? Vprašanje je bilo zelo zanimivo in kar naenkrat so se začela odpirati še dodatna vprašanja – kako in zakaj zvok nastaja, zakaj pride do različnih tonov, ali bi bil ton enak, če bi bil v kozarcu pesek, moka, olje, ali kaka druga snov. Ker so se vprašanja kar množila, sva se odločili, da letošnjo raziskovalno nalogo pripraviva na tem zanimivem področju.

1.2 HIPOTEZE

Pri raziskovanju zvoka, ki nastane s pomočjo drsenja prstov po robu kozarca, so se nama porodila mnoga vprašanja, zato sva si postavili nekaj hipotez:

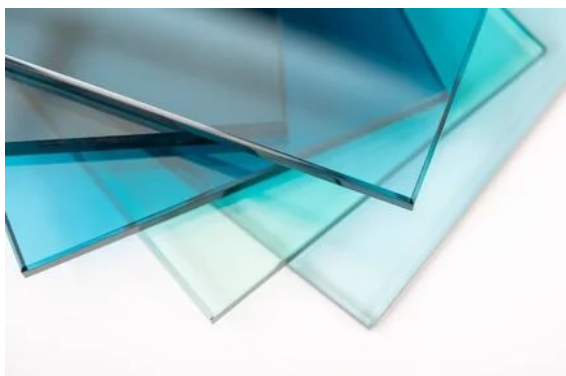
1. Na ton vpliva oblika kozarca.
2. Volumen tekočine v kozarcu vpliva na višino tona.
3. Na ton vplivajo fizikalne lastnosti (gostota, agregatno stanje) snovi v kozarcu.
4. Hitrost prsta, s katerim proizvajamo zvok na kozarcu, vpliva na višino ustvarjenega tona.
5. Viskoznost tekočine, v katero pomočimo prst, vpliva na zvok.

2. TEORETIČNI DEL

2.1 STEKLO

Steklo je prozorna trdnina, ki ima veliko praktično, tehnološko in dekorativno uporabnost, na primer kot okensko steklo, v gospodinjstvu (posoda, kozarci) in izolacijski material (steklena volna). Osnovna sestavina stekla je silicijev dioksid (kremen, SiO_2).

Steklo je izjemno uporabno predvsem zaradi njegove prepustnosti za vidno svetlobo. Površina stekla je običajno gladka, ker se med strjevanjem molekule podhladijo in se zato ne utegnejo zložiti v pravilno kristalno geometrijo, temveč se podrejajo površinski napetosti. Te lastnosti dajejo steklu prozornost, ki se ohrani tudi, če je steklo obarvano (slika 1). [1]



Slika 1: Večbarvno steklo [2]

Steklo je prozorna tekočina z zelo visoko viskoznostjo in amorfnu zgradbo, ki se začne mehčati pri 500–700 °C. V raztaljenem stanju lahko steklo pihamo, valjamo, vlečemo in ulivamo v različne votle izdelke, plošče ali zelo zapleteno oblikovane predmete (slika 2). Steklo, ki ni varnostno izolirano ali kako drugače termično obdelano, je krhko in lomljivo, po drugi strani pa izredno trdno. Prenese do 30-krat večje tlačne obremenitve kot beton ali kamen in je zato zelo uporabno na številnih področjih. [1]



Slika 2: Termična obdelava stekla [2]

Steklo je naraven material, ki lahko prevzame na tisoče oblik, njegove lastnosti pa so odvisne predvsem od tega, na kakšen način ga obdelamo oziroma s kakšnim postopkom poskrbimo za oplemenitenje. [3]

Vrste stekla lahko razdelimo na: [4]

- izolacijsko steklo,
- varnostno steklo,
- peskano steklo,
- jedkano steklo,
- ornamentno steklo in
- kaljeno steklo.

2.2 KOZARCI

Iz stekla so narejeni tudi kozarci, ki jih uporabljamo za pitje, lahko pa tudi kot kuhinjske pripomočke. Velikokrat se kozarci delijo na vrsto pijače, ki jo v njih postrežemo. Tako govorimo o:

- kozarcih za vodo,
- kozarcih za rdeče vino,
- kozarcih za belo vino,
- kozarcih za penino,
- kozarcih za žganje in
- kozarcih za viski.

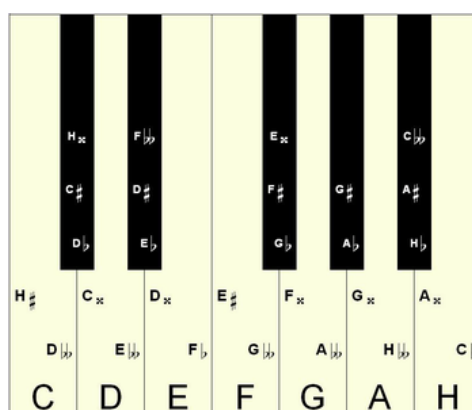
Preden so se ljudje naučili uporabljati steklo za izdelavo kozarcev, so uporabljali vulkansko steklo (obsidian). To vrsto stekla so uporabljali tudi za izdelavo nožev, konic puščic, nakita in denarja. [5]

Prvi kozarec naj bi izdelali na območju današnje Sirije okoli leta 5000 pred našim štejetem. Ideje se je spomnil stari rimski zgodovinar Pilinij. Po arheoloških dokazih naj bi prvo steklo človek izdelal v Vzhodni Mezopotamiji in Egiptu okoli leta 3500 pred našim štejetem, prve steklene posode pa so bile izdelane okoli leta 1500 pred našim štejetem v Egiptu in Mezopotamiji. V naslednjih 300 letih se je steklarska industrija hitro povečevala, središča za proizvodnjo stekla pa so postala Egipt, Sirija in druge države ob vzhodni obali Sredozemskega morja. [5]

2.3 ZVOK IN TON

2.3.1 TON

V splošnem ima ton štiri pomene, in sicer v glasbi, likovni umetnosti, načinu govorjenja in književnosti. Ton predstavlja zvok določene višine, trajanja, jakosti in barve. [6] Vsak ton ima samo 1 frekvenco [7], v glasbi pa poznamo 12 različnih tonov (slika 3), od katerih lahko 8 tonov sestavlja lestvico. Razdalja oziroma interval med osmimi toni se imenuje oktava.



Slika 3: 12 tonov, prikazanih na klaviaturi. [6]

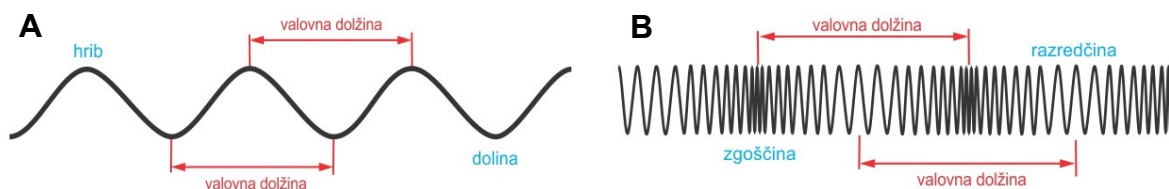
Poznamo tri različne vrste tonov:

- **Cel ton** je takrat, ko je med dvema sosednjima tonoma še en ton,

- o **poltonu** govorimo, ko med sosednjima tonoma drugega tona ni,
- **četrt ton** pa je takrat, ko je med dvema poltonoma še en ton. Takega tona človeško uho ne more zaznati, v glasbi pa ga srečamo zelo redko in ga prav tako z vsemi glasbili ne moremo zaigrati. [8]

2.3.2 ZVOK

Kaj je zvok in kakšno je njegovo valovanje, smo se naučili že v sedmem razredu osnovne šole pri naravoslovju. V ožjem pomenu lahko zvok definiramo kot zvočno valovanje s frekvencami v slišnem območju človeškega ušesa, to je med 20 Hz in 20.000 Hz. Zvok z nižjimi frekvencami imenujemo infrazvok, z višjimi pa ultrazvok. Veda, ki proučuje zvok in z njim povezane fizikalne pojave, se imenuje akustika, subjektivno človeško zaznavanje zvoka pa psihoakustika. Zvok je mehansko valovanje, ki se širi v dani snovi (trdnini, kapljevini ali plinu). V kapljevinah in plinih je zvok vedno vzdolžno valovanje (slika 4A), kar je zelo pogosto, zato prečnega valovanja (slika 4B) pri zvoku skorajda ni, razen v trdnih snoveh. [9]



Slika 4: Shematični prikaz valovanja: A) vzdolžno valovanje in B) prečno valovanje. [10]

Zvok lahko opredelimo s frekvenco, ki je povezana z višino tona in amplitudo zvočnega tlaka, ki je povezana z glasnostjo.

2.3.3 RAZLIKA MED TONOM IN ZVOKOM

Velikokrat mislimo, da imata ton in zvok enak pomen, vendar pa ni tako. Zvok je namreč nadpomenka in ni samo ton, temveč tudi zven, šum, pok ali pa ropot. Ton pa definiramo kot neke vrste zvok. Po navadi je ton nek prijeten zvok, ki se melodično oglasi, zvok pa je lahko tudi neprijeten (šum, ropot, hrup, pok...).

Poznamo več vrst zvoka:

- Ton je zvok, s točno določeno frekvenco.
- Zven je sestavljen iz več tonov, ki so med seboj v razmerju celih števil.
- Šum je naključna mešanica množice tonov z različnimi glasnostmi.
- Hrup je zvok, ki je glasen, neprijeten ali neželen. [11]
- Pok je kratek in sunkovit zvok.
- Ropot je kombinacija šuma in pokov. [12]

2.3.4 USTVARJANJE ZVOKA

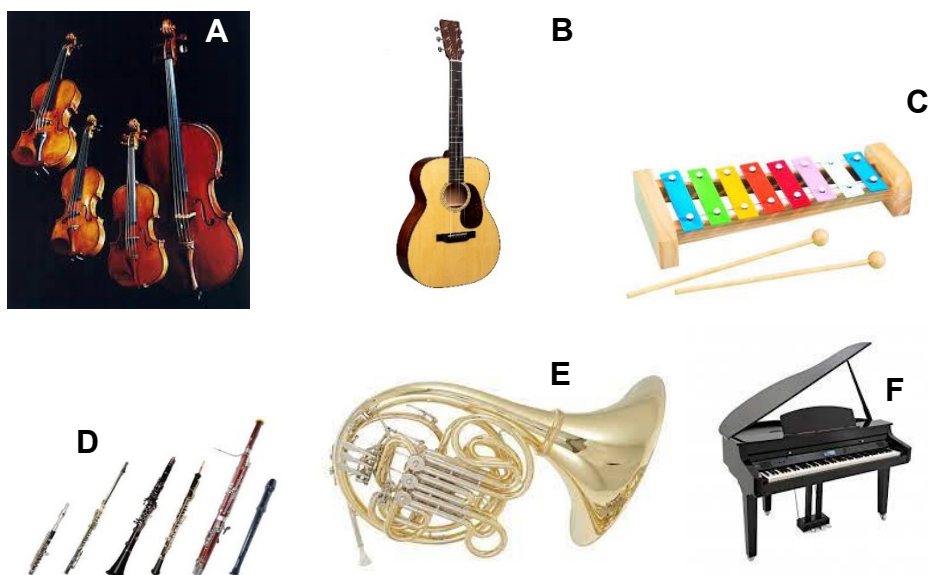
Zvok je del našega življenja, saj ga proizvajamo skoraj ves čas. Nastane lahko z glasom ali pa z vsakdanjimi predmeti (sesalec, avtomobil, pralni stroj, pipa za vodo, razbijanje stekla, mečkanje papirja, ...). Jakost zvoka merimo v decibelih, to je enota brez dimenzije, ki jo zapišemo kot dB. Z decibeli izražamo razmerje med spremenljivo količino in konstantno referenco. Uporabljamo ga pri meritvah v akustiki, fiziki, elektrotehniki in sorodnih področjih. [13]

2.3.5 USTVARJANJE TONA

Zvok lahko torej ustvarjamo s čimerkoli, medtem ko pri tonu ni tako. Tudi ton lahko izvajamo na različne načine, najpogosteje pa z glasbili, kot so godala, brenkala, tipkala, pihala, trobila, nekatera tolkala (slika 5) in z glasom.

Godala (slika 5A) so glasbila, s katerimi ustvarjamo zvok tako, da nanje godemo z lokom, ki napete strune spravlja v nihanje oziroma v vibracijo. Pri godalih ton nastane s pomočjo strun in loka. [14] V skupino brenkal spadajo glasbila, ki jih združuje enak način izvajanja. [15] Na brenkala brenkamo in tako ustvarjamo različne tone. V to skupino sodi tudi kitara (slika 5B), ki je eden bolj priljubljenih glasbil tako pri mlajši kot starejši populaciji. Tolkala so glasbila, na katera igramo tako, da z roko ali s paličastimi pripravami udarjamo nanje. [16] Nekatera tolkala ustvarjajo samo en zvok, druga, kot na primer ksilofon (slika 5C), pa ustvarjajo različne tone. Pihala (slika 5D) so glasbila, ki ustvarjajo zvok tako, da glasbenik pihne zrak v ustnik. S tem zračni steber v notranjosti pihala zaniha. Če je frekvenca nihanja enakomerna, zaslišimo točno

določen ton. [17] Trobila, kot na primer rog (slika 5E), so cevasta glasbila, ki proizvajajo zvok tako, da glasbenik s pihanjem zraka, povzroči vibracijo ustrezno napetih ustnic, ki se v glasbilu pretvori v zvok. [18] Tipkala ali glasbila s tipkami so tista, ki imajo klaviaturo, po kateri glasbenik igra s pritiski prstov (slika 5F). [19] Ton nastane, ko kladivca udarijo na napeto struno, ta pa pri tem zavibrira in s tem ustvari ton.



Slika 5: Fotografije nekaterih glasbil: A) godala [20], B) kitara [21], C) ksilofon [22], D) pihala [23], E) rog [24], F) klavir [25].

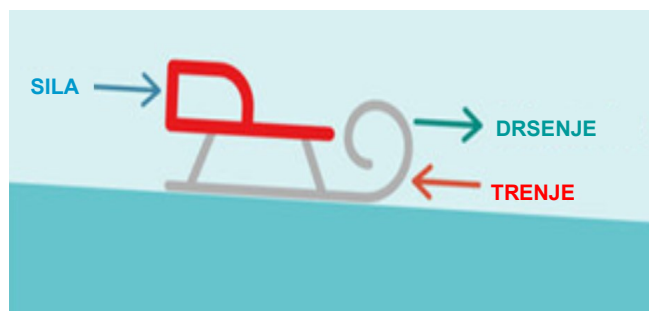
2.4 TRENJE

Pri proizvodjanju zvoka s pomočjo kozarca (slika 6) in tekočine v njem, nastane sila trenja, ko prst drsi po površini kozarca. Nastajajo vibracije, zaradi njih pa posledično tudi ton.



Slika 6: Drsenje prsta po robu kozarca [Osebni arhiv]

Pri fiziki v osmem razredu osnovne šole smo se naučili, da je sila trenja zaviralna sila, ki nastane zaradi drgnjenja dveh površin (slika 7). Deluje v nasprotno smer gibanja telesa in ovira telo pri drsenju. Njena velikost je odvisna od hrapavosti površine in od sile med ploskvama. Trenje lahko zmanjšamo z mazili oziroma z gladkimi površinami.



Slika 7: Prikaz trenja [26]

2.5 VISKOZNOST TEKOČIN

Tekočine izkazujejo lastnost, od katere je odvisna hitrost njihovega pretakanja. Ta lastnost se imenuje viskoznost. Če ima neka tekočina višjo viskoznost, to pomeni, da bo ta tekočina počasneje tekla in se težje mešala. Po drugi strani ima tekočina, ki se pretaka hitreje in se lažje meša, nižjo viskoznost. Viskoznost je odvisna od temperature, in sicer se večini snovi pri povišani temperaturi viskoznost zmanjša [27]. To lahko hitro opazimo na primer pri medu, saj teče topel med hitreje kot hladen, kar pomeni, da ima pri povišani temperaturi nižjo viskoznost.

Viskoznost je torej lastnost tekočin, ki povzroči, da je gibanje tekočine ovirano oziroma povzroča tudi zaviralno silo na telo, ki se giblje v viskozni tekočini. Maziva, ki zmanjšujejo trenje, imajo običajno visoko viskoznost.

2.6 USTVARJANJE ZVOKA S KOZARCI

2.6.1 ZGODOVINA

Dejanje ustvarjanja tonov s kozarci vode je znano že stoletja. Leta 1638 je Galileo v svojem delu *Two New Sciences zapisal*: "... kozarec vode lahko oddaja ton samo s trenjem konice prsta ob rob stekla ...". To je verjetno prvi zapis ustvarjanja zvoka z drsenjem prsta po kozarcu [28].

Ustvarjanje zvoka s kozarci izhaja iz azijskih predhodnikov, zlasti iz Perzije, od 11. stoletja naprej. Med predhodnike najverjetneje sodijo starodavna glasbila, kot so kitajske skodelice in arabski kozarci, na katera so glasbeniki udarjali s palicami in ustvarjali zvok. Glasbeni učenjak, sir John Hawkins, je bil prvi, ki je leta 1776 predlagal, da bi zvok dobili tako, da bi drgnili robove kozarcev. Komplet glasbenih kozarcev, ki jih je razvil irski izumitelj Richard Pockrich leta 1741, je bil priljubljen v Angliji okrog leta 1760. V tem času je bila odlična igralka na kozarce gospa Ann Ford. Izdaja Public Advertiser je namreč 2. novembra 1761 objavila nastop gospodične Ford ob njenem petju in igranju na glasbene kozarce. V izdaji je bila tudi brošura Anne Ford o igranju na glasbene kozarce. Glasbeni kozarci so navdihnili tudi Benamina Franklina, ki je leta 1760 izumil stekleno harmoniko, ki jo je poimenoval »Glass armonica« (slika 8).



Slika 8: Franklinova steklena harmonika (»Glass armonica«). [29]

Stekleno harmoniko je sestavil tako, da je več kozarcev z različnim premerom namestil na isto os tako, da so bili razporejeni od tistega z največjim premerom do tistega z

najmanjšim premerom. Kozarci so se vrteli okoli svoje osi, zvok pa se je ustvaril z dotikanjem kozarcev z navlaženimi prsti. Pri tem so se lahko akordi igrali z obema rokama. Mozart je za Franklinovo harmoniko zapisal tudi solo skladbo Franklinova harmonika [28].

2.6.2 FIZIKALNE OSNOVE IN PRETEKLE RAZISKAVE

S pomočjo kozarcev lahko zvok ustvarimo tako, da čist in rahlo navlažen prst drgnemo po robu kozarca. Pri drsenju prsta po kozarcu pride do trenja, ki vzbudi nihanje stene kozarca, kar se v okolico prenese kot zvočno valovanje. Resonančna frekvenca kozarcev je običajno v območju človeškega sluha (20-20.000 Hz), zato lahko to valovanje zaznamo kot zvok oziroma mu lahko določimo ton. [30] Nihanje sten kozarca je odvisno od oblike kozarca, debeline sten, gostote stekla in modula elastičnosti stekla. Posledično so tudi toni, ki jih različni kozarci pri takšnem vzburjanju oddajajo, različni. Nihanje sten kozarca, ki ga dosežemo s trenjem, se prenaša tudi na snovi, ki jih imamo v kozarcu. Za vzmetno nihalo velja enačba:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (1)$$

kjer je ω frekvenca, m masa vzmeti s konstanto k . Kadar je v kozarcu snov, se poveča masa nihajočega dela in iz enačbe (1) lahko vidimo, da se pri povečani masi frekvenca zmanjša. Pričakujemo lahko torej, da bo povečana količina snovi v kozarcu znižala frekvenco nihanja. Podobno lahko pričakujemo tudi pri večanju gostote snovi v kozarcu. [29]

V literaturi nisva našli veliko eksperimentalnih raziskav na področju ustvarjanja zvoka z drsenjem prsta po kozarcih. Pred nekaj leti je bila na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani opravljena raziskava Pojoči kozarci [29], v katerih so avtorji ugotavljali odvisnost višine osnovnega tona od višine vode v kozarcu, odvisnost višine tona od višine vode, ki kozarec obliva od zunaj in vpliv gostote tekočine, ki je v kozarcu, na višino tona. Uporabili so vodo in glicerin, niso pa se osredotočili na različne oblike kozarcev in proučevanje snovi, ki ne bi bile v tekoči obliki. V svoji raziskavi [29] so ugotovili, da se z višino gladine kapljevine v ali izven kozarca frekvenca niža. Frekvenca se je nižala bolj izrazito, če je kapljevina kozarec obdajala – torej je bil

kozarec potopljen v kad s kapljevino. Poleg tega so ugotovili , da na višino frekvence vpliva tudi gostota kapljevine. Gostejša kot je bila kapljevina, bolj izrazito je frekvenca padala pri povečevanju volumna te kapljevine v kozarcu.

3. EKSPERIMENTALNI DEL

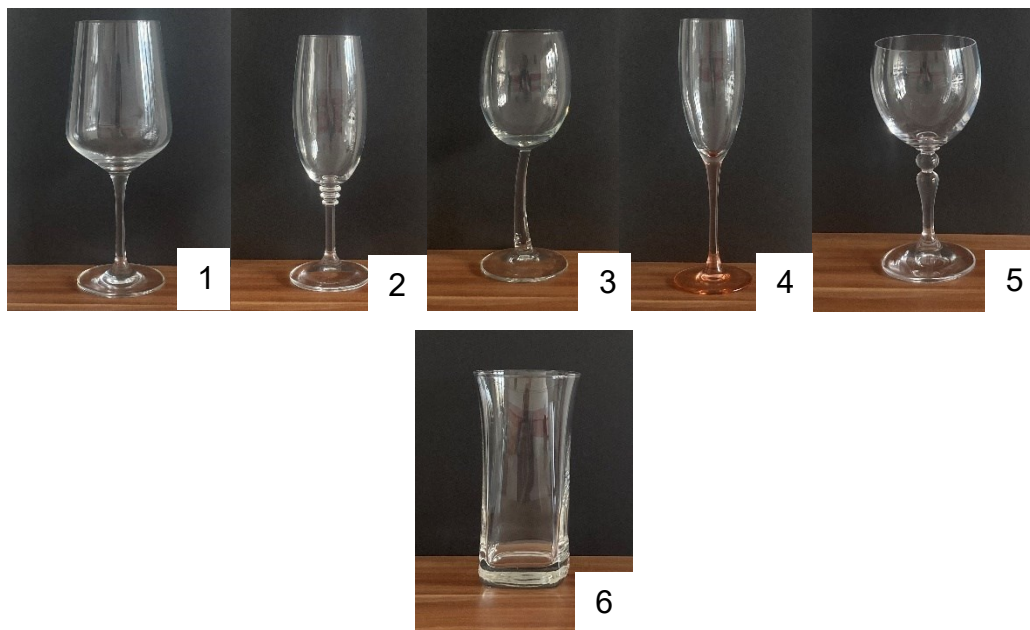
Zaradi izrednih epidemioloških razmer sva eksperimentalni del najine raziskovalne naloge opravili v okviru domačega okolja. To nama ni predstavljalo večjega problema, saj sva doma imeli vse potrebno.

Najina raziskovalna naloga temelji na zvoku, ki nastane s pomočjo drsenja prsta po različnih kozarcih. Dobljene tone sva najprej določali s pomočjo klavirja, za večjo natančnost pa sva uporabili še prosto dostopno aplikacijo za mobilne telefone Soundcorset Tuner. Poleg tega sva določili tudi frekvenco posameznega tona s prosto dostopno aplikacijo za mobilne telefone Sound Frequency Analyzer.

Da bi potrdili ali ovrgli hipoteze, ki sva si jih zadali na začetku svojega raziskovanja, sva uporabili različne kozarce, v katere sva najprej natočili vodo. Različne tone sva dobili s pomočjo različnega volumna vode v kozarcu. Poleg vode sva želeli preveriti še, ali lahko tone dobimo tudi z uporabo drugih snovi, mogoče takih, ki niso tekočine. V ta namen sva poleg vode preverili nastajanje tonov še s pomočjo različnih tekočin, kot so detergent za pomivanje posode in pomarančni sok, z uporabo moke in riža pa sva želeli preveriti, če lahko zvok nastane tudi pri uporabi trdnih delcev v kozarcu.

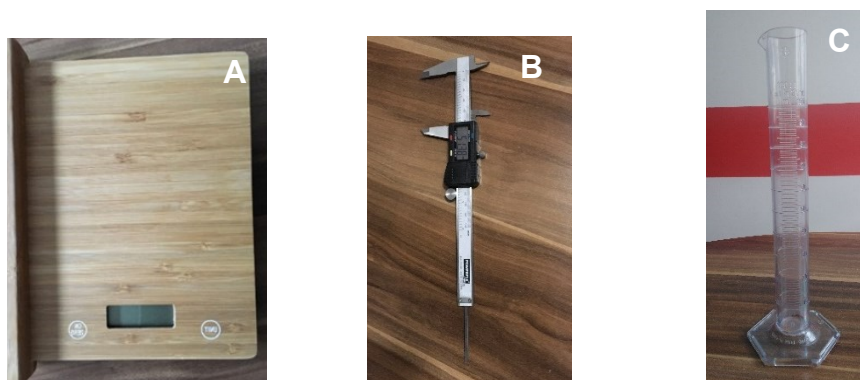
3.1 UPORABLJENI PRIPOMOČKI

Vse eksperimente sva opravili v domačem okolju, zato sva za pripomočke uporabili to, kar je bilo na voljo doma. Najprej sva izbrali 6 različnih vrst kozarcev, ki so prikazani na sliki 9. Poimenovali sva jih glede na obliko in njihove značilnosti: 1 – velik, 2 - ozek s kroglicami na peclju, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 – ozek z rdečim pecljem in 5 - širok s kroglico na peclju.



Slika 9: Uporabljeni kozarci [Osebni arhiv]

Za določanje gostote izbranih snovi sva uporabili kuhinjsko tehtnico in merilni valj, ki sta prikazana na sliki 10. Gostoto sva vsem uporabljenim snovem določili tako, da sva najprej stehtali prazen merilni lonček, nato pa sva v lonček do volumna 40 ml natočili izbrano snov in oboje še enkrat stehtali. Iz razlike mas sva določili maso snovi, ki sva jo delili z volumnom 40 ml in kot rezultat dobili gostoto izbrane snovi.



Slika 10: Uporabljeni pripomočki: A) kuhinjska tehtnica, B) pomično ravnilo in C) merilni valj [Osebni arhiv]

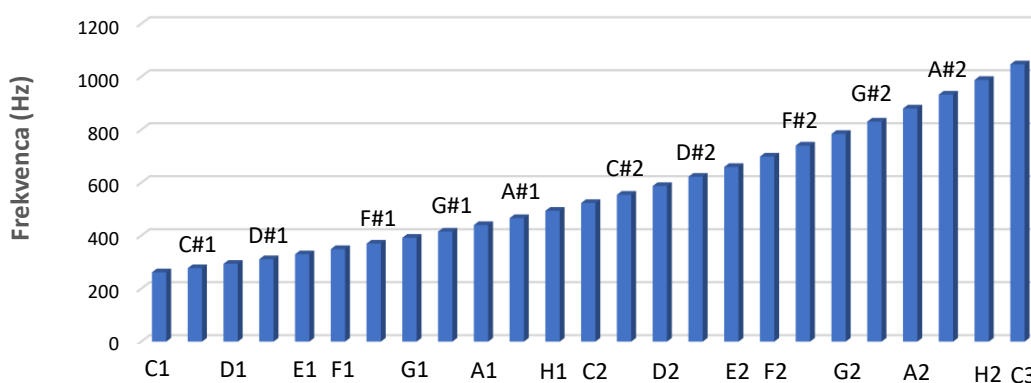
Tone, ki sva jih dobili z drsenjem po kozarcu, sva najprej skušali določiti s pomočjo klavirja. Ker pa sva ugotovili, da je bilo v nekaterih primerih težko določiti točen ton, sva si pomagali z aplikacijo Soundcorset Tuner. Tone, ki sva jih določili, sva zapisali v

skladu z veljavnimi zapisi za tone. Vsak ton ima svojo črko in številko, ki označuje oktavo. V primeru, da je ton za pol tona zvišan, se uporablja simbol #, kadar pa je ton za pol tona znižan, se doda simbol b. Da bi ton še bolj natančno okarakterizirali, sva posameznemu tonu določili še frekvenco v Hz z aplikacijo Sound Frequency Analyzer. Vsako meritev sva opravili štiri-krat, povprečje vseh meritev pa sva uporabili za nadaljnji študij. Vsi uporabljeni pripomočki so prikazani na sliki 11.



Slika 11: Uporabljeni pripomočki za določanje tonov: A) klavir, B) aplikacija za mobilne telefone Soundcorset Tuner, C) aplikacija za mobilne telefone Sound Frequency Analyzer [Osebni arhiv]

Vsak ton ima točno določeno frekvenco, zato lahko iz izmerjene frekvence zvoku določimo ton. V literaturi [31] sva poiskali vrednosti frekvence za določen ton in narisali graf odvisnosti vrste tona od frekvence v Hz (slika 12). Iz grafa je razvidno, da se z višanjem frekvence viša tudi ton.



Slika 12: Vpliv vrste tona od frekvence nihanja zvoka (povzeto po [31]).

3.2 IZBRANE SNOVI

Za izvedbo eksperimentov sva uporabili različne snovi. Ker sva želeli preveriti, kako različna gostota snovi v kozarcu vpliva na ton, sva poleg tekočih snovi - vode, detergenta za pomivanje posode in pomarančnega soka uporabili še trdne snovi; to sta bila riž in moka. Vsem izbranim snovem sva z merjenjem volumna in mase določili gostoto. Vsako meritev sva opravili tako, da je vsaka od naju naredila po dve ponovitvi, povprečje vseh meritev pa sva uporabili za nadaljnji študij.

3.3 EKSPERIMENTALNE METODE

Za proučevanje ustvarjanja zvoka sva izvedli več eksperimentov drsenja prsta po robu različnih kozarcev. Pri tem sva za določanje nastale frekvence in tona uporabili zgoraj omenjene mobilne aplikacije.

Vsi eksperimenti so bili izvedeni pri konstantni sobni temperaturi 22°C.

3.3.1 USTVARJANJE ZVOKA

Zvok sva s pomočjo različnih kozarcev ustvarjali tako, da sva najprej prst pomočili v vodo, nato pa z mokrim prstom drseli po robu kozarca. Da bi preizkusili, kako tekočina, v katero pomočimo prst, vpliva na nastajanje zvoka, sva pri nekaterih eksperimentih pomočili tudi v detergent, pomarančni sok in olje. Pri nekaterih eksperimentih sva spreminjali tudi hitrost drsenja prsta po robu kozarca.

3.3.2 DOLOČANJE TONOV IN FREKVENC

Kot že omenjeno, sva frekvenco in ton, ki sta nastala pri drsenju mokrega prsta po robu kozarcev, določevali z mobilnimi aplikacijami. Ko sva ustvarili zvok, sva najprej vklopili aplikacijo za določanje frekvence (Sound Frequency Analyzer), ki je zvok zelo hitro zaznal in izpisal ustrezno frekvenco. Podobno sva naredili tudi pri določanju tona,

ki sva ga po enakem postopku določili z aplikacijo (Soundcorset Tuner). Pri vsakem določenem tonu, sva le-tega preverili še tako, da sva ustrezen ton zaigrali še na klavir.

3.3.3 DOLOČANJE HITROSTI DRSENJA PRSTA PO ROBU KOZARCA

Za določitev vpliva hitrosti drsenja prsta po robu kozarca, sva prst enkrat premikali počasi, drugič hitro. Da bi določili hitrost, s katero je prst drsel po robu kozarca, sva najprej izmerili notranji premer (d) kozarca. Nato sva s prstom drseli po robu kozarca tako, da sva pri tem opravili 5 krogov in merili čas (t). Hitrost drsenja prsta po robu kozarca (v) sva nato izračunali s pomočjo enačbe:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\pi \cdot d}{t}, \quad (2)$$

v kateri s predstavlja pot (obseg roba kozarca), d je notranji premer kozarca, t pa predstavlja čas drsenja prsta.

4. REZULTATI

4.1 GOSTOTA IZBRANIH SNOVI

Vsem izbranim snovem sva določili gostoto, dobljeni rezultati pa so prikazani v tabeli 1. Iz tabele lahko vidimo, da so bile gostote moke in riža manjše od gostote vode, medtem ko sta bili gostoti pomarančnega soka nekoliko višji. Najnižjo gostoto sva določili moki, in je znašala 750 kg/m^3 , nekoliko višja je bila gostota riža – 850 kg/m^3 . Detergent je izkazoval najvišjo gostoto in sicer 1125 kg/m^3 .

Tabela 1: Prikaz gostote uporabljenih snovi

Snov	Masa m (g)	Volumen V (ml)	Gostota ρ (kg/m^3)
moka	30	40	750
voda	60	60	1000
detergent	45	40	1125
riž	34	40	850
pomarančni sok	63	60	1050

4.2 DIMENZIJSKE ZNAČILNOSTI KOZARCEV

Pri vseh uporabljenih kozarcih sva najprej določili nekaj njihovih geometrijskih dimenzij. Najprej sva s pomičnim ravnilom (slika 10) izmerili notranji premer na vrhu vsakega kozarca in nato z istim ravnilom še debelino stene na zgornjem robu kozarca. Višino kozarca, ki je na voljo za vnos snovi in sva jo poimenovali globina kozarca, sva izmerili z navadnim metrom. Vsako dimenzijo sva pomerili štiri-krat, saj je vsaka opravila po dve meritvi, povprečne vrednosti izmerjenih dimenzij vseh kozarcev pa sva nato prikazali v tabeli 2. Iz tabele lahko vidimo, da so imeli kozarci zelo različne dimenzije, razen debeline stene in najožjega dela pečlja. Vsi kozarci s pečljem so imeli podobno debelino stene, ki se je gibala okoli 1 mm, medtem ko sva pri kozarcu za vodo izmerili precej debelejšo steno kozarca, in sicer je ta znašala 1.7 mm. Podobne so bile tudi dimenzije pečljev, saj so vsi kozarci s pečlji izkazovali podoben najožji premer pečlja. V vseh primerih se je le-ta gibal okoli 7 do 8 mm.

Tabela 2: Oznake, poimenovanja in dimenzijske karakteristike uporabljenih kozarcev, ki so prikazani na sliki 9.

Oznaka kozarca	Poimenovanje	Notranji premer (mm)	Globina kozarca (mm)	Debelina stene (mm)	Volumen (ml)	Višina pečlja (mm)	Najožji premer pečlja (mm)
1	velik	67,0	123	1,2	550	92	7,5
2	ozek s kroglicami	65,5	68	0,95	195	71	7,5
3	ozek z zavitim pečljem	48,1	105	1,1	160	98	6,9
4	ozek z rdečim pečljem	45,0	125	1,0	235	73	8,0
5	širok s kroglico na pečlju	55,0	80	1,1	235	79	8,0
6	širok kozarec za vodo	68,0	134	1,7	340	/	/

4.3 USTVARJANJE ZVOKA

4.3.1 VPLIV OBLIKE KOZARCA

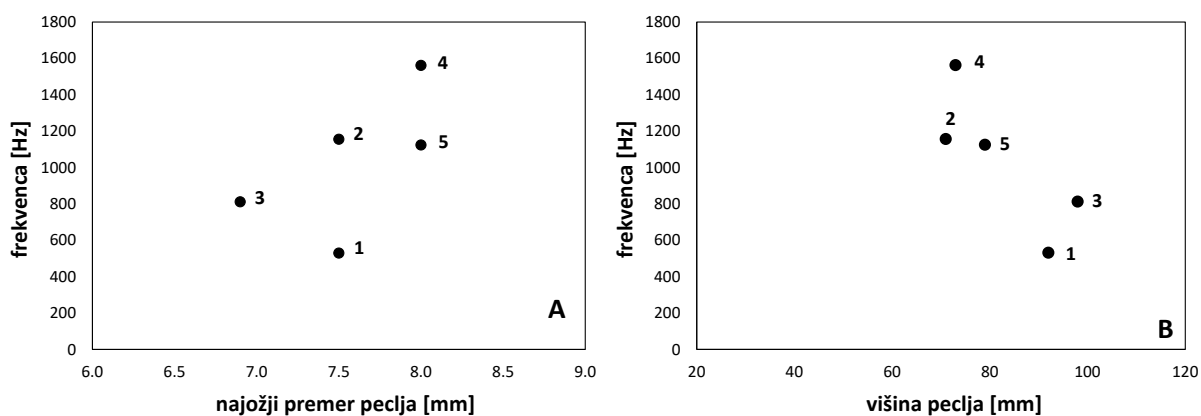
Da bi preverili prvo hipotezo, ki pravi, da oblika kozarca vpliva na ton, ki ga ustvarimo z drsenjem mokrega prsta po kozarcu, sva najprej preverili zvok pri praznih kozarcih. Pri vsakem od izbranih kozarcev sva z mokrim prstom drseli po robu kozarca in določili frekvenco in ton, ki je pri tem nastal. Povprečne vrednosti izmerjenih štirih meritev frekvence in tona v praznih kozarcih so prikazane v tabeli 3. Ton se je razvil pri vseh kozarcih, razen pri širokem kozarcu za vodo. Ker se pri drsenju mokrega prsta po kozarcu brez pečlja zvok ni ustvaril, sva za nadaljnje proučevanje zvoka uporabili samo kozarce na pečljih.

Tabela 3: Frekvenca in ton pri različnih praznih kozarcih, ki so prikazani na sliki 9.

Kozarec	Frekvenca (Hz)	Ton
1 (velik)	531	C#2
2 (ozek s kroglicami)	1156	D3
3 (ozek z zavitim pečljem)	812	G#2
4 (ozek z rdečim pečljem)	1562	G3
5 (širok s kroglico na pečlju)	1125	C#3
6 (širok kozarec za vodo)	/	/

Rezultate meritev frekvenc in tonov v praznih kozarcih sva primerjali s teoretičnimi vrednostmi, ki so prikazane na sliki 12. Ugotovili sva, da se toni in frekvence, ki sva jih določili s pomočjo mobilnih aplikacij oziroma klavirja, nekoliko razlikujejo od teoretičnih vrednosti. Do teh razlik je prišlo zaradi tega, ker ustvarjen zvok pogosto ni bil popolnoma čist, prav tako pa mobilne aplikacije niso dovolj natančne, vendar pa omogočajo še vedno dovolj dober približek.

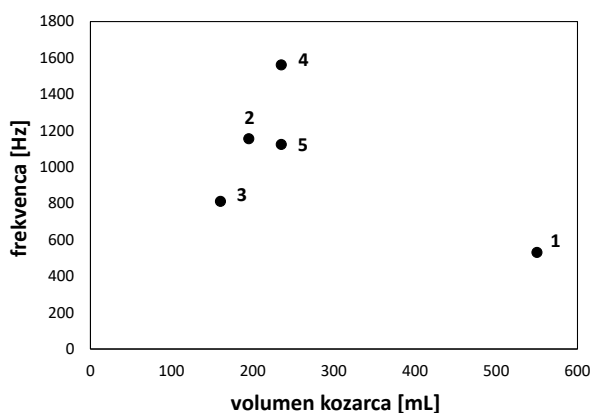
Za določene vrednosti frekvence in tona sva želeli ugotoviti, kako geometrijske značilnosti posameznega kozarca vplivajo na frekvenco, ki jo ustvarimo z drsenjem mokrega prsta po kozarcu. Dobljene vrednosti frekvenc sva zato primerjali z geometrijskimi značilnostmi kozarcev, ki so prikazane v tabeli 2. Rezultate sva predstavili v obliki grafov odvisnosti frekvence od posameznega geometrijskega parametra (slike 13-17).



Slika 13: Odvisnost frekvence od značilnosti pecljev: vpliv A) najožjega premera peclja in B) višine peclja. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

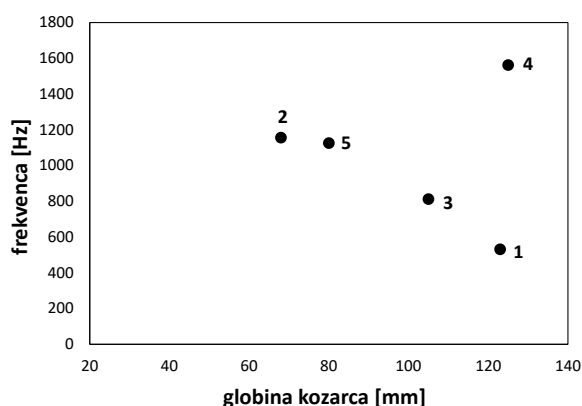
Slika 13 prikazuje odvisnost frekvence od najožjega dela pecljev (slika 13A) in višine peclja (slika 13B). V obeh primerih lahko vidimo trend spreminjanja frekvence od dimenzij pecljev. Frekvenca je z naraščajočim premerom peclja naraščala, pri čemer pa se je pri majhni spremembi premera peclja (od 6.9 mm do 8 mm) močno spremenila, in sicer od 531 Hz do 1562 Hz. To pomeni, da že majhna sprememba premera peclja vodi do znatne spremembe ustvarjenega tona. Vendar pa sva opazili, da sta dve točki na grafu odstopali od trenda. To sta bila rezultata za kozarce 1 in 5, torej za velik kozarec in širok kozarec s kroglico na peclju. Odstopanje sva pripisali dejstvu, da na spremembo frekvence oziroma tona vplivajo še drugi parametri. Tudi v

primeru višine pečlja so rezultati pokazali trend in sicer se je frekvenca z naraščajočo višino pečlja zniževala.



Slika 14: Odvisnost frekvence od volumna kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pečljem, 4 - ozek z rdečim pečljem, 5 - širok s kroglico na pečlju.

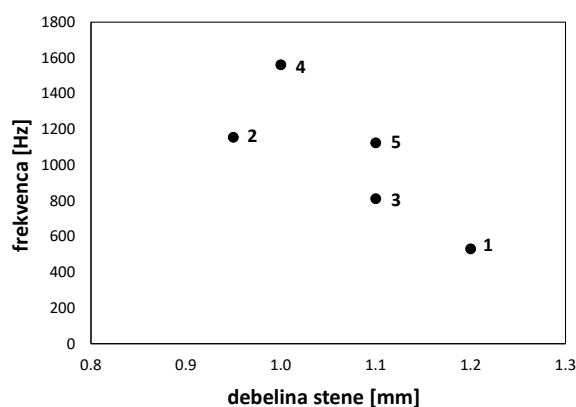
Rezultati vpliva volumna praznega kozarca na frekvenco oziroma ton (slika 14) so pokazali, da volumen vpliva na nastali ton. Kozarci 2, 3 in 4 so imeli podobno obliko (bili so ozki in visoki), zato je pri teh kozarcih lepo viden trend višanja frekvence z naraščajočim volumnom kozarca. Po drugi strani pa sta bila kozarca 1 in 5 širša, še posebej kozarec 1, ki je bil tudi precej večji od ostalih. Meritve pri tem kozarcu so zato tudi močno odstopale od ostalih.



Slika 15: Odvisnost frekvence od globine kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 – velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pečljem, 4 - ozek z rdečim pečljem, 5 - širok s kroglico na pečlju.

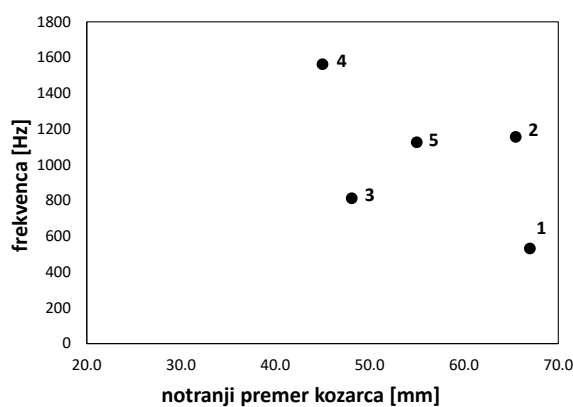
Poleg volumna sva kozarcem določili tudi globino. To je bila razdalja med robom kozarca in najnižjo točko v kozarcu. Iz rezultatov odvisnosti frekvenca od globine kozarca (slika 15) lahko vidimo, da je frekvenca z naraščajočo globino kozarca padala. Od tega je močno odstopal rezultat za kozarec 4, ki je bil najožji in je imel tudi najvišjo globino. Posledično je dosegel najvišjo frekvenco.

Ker zvok pri drsenju z mokrim prstom po kozarcu nastane zaradi nihanja stene kozarca, ima debelina stene prav tako velik vpliv na ustvarjen ton oziroma frekvenco (slika 16). Z naraščajočo debelino stene kozarca se je nastala frekvenca zniževala.



Slika 16: Odvisnost frekvenca od debeline stene kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

Primerjali sva tudi vplive notranjih premerov zgornjega roba kozarcev in rezultate meritev frekvenca prikazali na sliki 17. Iz rezultatov težko sklepamo na izrazit trend, saj premer sam po sebi nima večjega vpliva na nastalo frekvenco oziroma ton.



Slika 17: Odvisnost frekvenca od notranjega premera kozarca. Ob vsaki točki so dodane številke kozarcev: 1 - velik, 2 - ozek s kroglicami, 3 - ozek z zavitim pecljem, 4 - ozek z rdečim pecljem, 5 - širok s kroglico na peclju.

4.3.2 VPLIV VOLUMNA SNOVI V KOZARCU

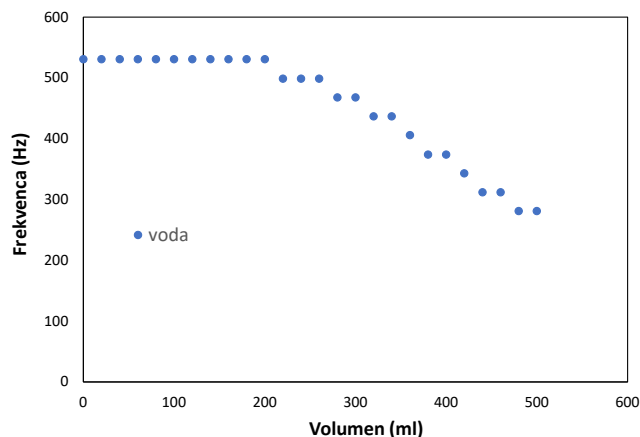
Da bi vpliv volumna snovi na frekvenco oziroma ton določili pri čim več različnih volumnih, sva nadaljnje meritve izvajali pri velikem kozarcu na pečju (kozarec 1 na sliki 10). Drugo hipotezo, ki pravi, da volumen tekočine v kozarcu vpliva na višino tona, sva zato proučili s tem kozarcem na pečju, pri čemer sva v kozarec natočili različne količine vode. Vodo sva v kozarec dodajali postopno, v količinah po 20 ml. Rezultati meritev frekvence in določevanja tona so prikazani v tabeli 4 in sliki 18.

Tabela 4: Izmerjene vrednosti frekvence in tona pri različnih volumnih vode v velikem kozarcu (kozarec 1)

Volumen ml	voda	
	frekvenca	ton
0	531	C#2
20	531	C#2
40	531	C#2
60	531	C#2
80	531	C#2
100	531	C#2
120	531	C#2
140	531	C#2
160	531	C#2
180	531	C#2
200	531	C#2
220	499	H1
240	499	H1
260	499	H1
280	468	A#1
300	468	A#1
320	437	A1
340	437	A1
360	406	G#1
380	374	F#1
400	374	F#1
420	343	F1
440	312	D#1
460	312	D#1
480	281	C#1
500	281	C#1

Iz tabele 4 je razvidno, da se pri nizkih volumnih dodane vode frekvenca ustvarjenega tona ni spreminjala vse do volumna 220 ml. Pri vseh teh količinah vode sva določili tudi popolnoma enak ton C2. Z nadaljnjim dodajanjem vode se je frekvenca ustvarjenega tona postopno zmanjševala vse do najvišjega volumna, to je bilo 500 ml dodane vode. Od začetne količine 20 ml dodane vode pa vse do 500 ml se je frekvenca zmanjšala od 531 Hz do 281 Hz, pri tem pa se je ton spremenil od C2 do C#1, kar je skoraj za celo oktavo. V tem kozarcu bi lahko torej z dodajanjem vode dosegli vse tone ene lestvice.

Rezultate vpliva volumna vode v velikem kozarcu (kozarec 1, slika 10) na frekvenco ustvarjenega tona sva prikazali tudi v obliki grafa (slika 18). Iz slike je lepo viden trend zmanjševanja frekvence tona pri naraščanju volumna dodane vode v kozarcu.



Slika 18: Vpliv volumna vode v kozarcu 1 (velik) na frekvenco ustvarjenega zvoka.

4.3.3 VPLIV FIZIKALNIH LASTNOSTI SNOVI V KOZARCU

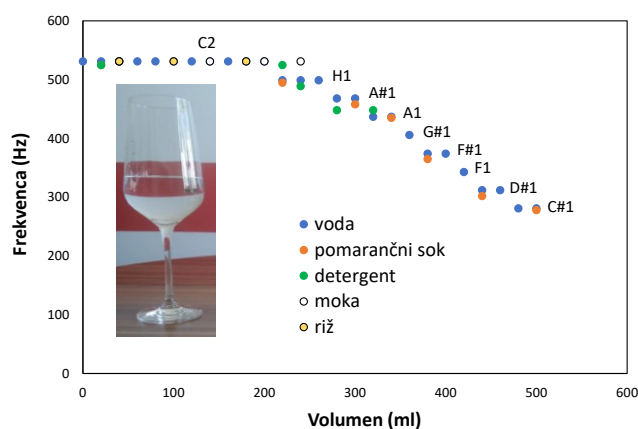
Pri raziskovanju naju je zanimalo tudi to, kaj se zgodi, če so v kozarcu namesto vode kakšne druge snovi z različnimi fizikalnimi lastnostmi (gostota, agregatno stanje). Izbrali sva detergent za pomivanje posode, pomarančni sok ter riž in moko, ki so imeli drugačno gostoto od vode, poleg tega pa sta bila riž in moka, za razliko od vode, detergenta in pomarančnega soka, v trdnem agregatnem stanju. S tem eksperimentom sva preverili tretjo hipotezo, ki govori o vplivu fizikalnih lastnosti snovi v kozarcu na ustvarjanje tona.

Za izvedbo eksperimenta z različnimi snovmi sva izbrali velik kozarec (kozarec 1, slika 10), ker je omogočal največjo spremembo količine dodane snovi. Vsako od zgoraj omenjenih snovi sva postopno dodajali v kozarec 1, nato pa z navlaženim prstom ustvarili zvok. Da bi ustvarili enake pogoje ustvarjanja zvoka, sva v vseh primerih prst namočili v vodo. Posameznemu zvoku sva nato s pomočjo mobilnih aplikacij določili frekvenco in ton v odvisnosti od dodanega volumna posamezne snovi. Rezultate sva prikazali v obliki tabele (tabela 5) in grafa (slika 19).

Tabela 5: Izmerjene vrednosti frekvence in tona pri različnih volumnih različnih snovi v kozarcu 1.

Volumen	voda		pomarančni sok		detergent		moka		riž	
	ml	frekvenca	ton	frekvenca	ton	frekvenca	ton	frekvenca	ton	frekvenca
0	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
20	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
40	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
60	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
80	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
100	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
120	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
140	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
160	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
180	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
200	531	C#2	531	C#2	525	C2	525	C2	525	C2
220	499	H1	495	H1	525	C2	525	C2	525	C2
240	499	H1	495	H1	489	A#1	525	C2	/	/
260	499	H1	495	H1	489	A#1	/	/	/	/
280	468	A#1	495	H1	448	A1	/	/	/	/
300	468	A#1	458	A1	448	A1	/	/	/	/
320	437	A1	458	A1	448	A1	/	/	/	/
340	437	A1	435	A1	/	/	/	/	/	/
360	406	G#1	435	A1	/	/	/	/	/	/
380	374	F#1	365	F1	/	/	/	/	/	/
400	374	F#1	365	F1	/	/	/	/	/	/
420	343	F1	343	F1	/	/	/	/	/	/
440	312	D#1	302	C#1	/	/	/	/	/	/
460	312	D#1	281	C#1	/	/	/	/	/	/
480	281	C#1	281	C#1	/	/	/	/	/	/
500	281	C#1	281	C#1	/	/	/	/	/	/

Iz rezultatov, ki so prikazani v tabeli 5, je razvidno, da se pri vseh uporabljenih snoveh z naraščajočim volumnom dodane snovi v kozarcu frekvenca ustvarjenega zvoka znižuje. Pri vseh snoveh sva opazili, da je bila frekvenca zvoka konstantna do volumna 200 ml. Z vodo in pomarančnim sokom sva lahko ustvarili zvok pri vseh volumnih, medtem ko se je pri detergentu zvok ustvaril le do volumna 320 ml dodanega detergenta, nato pa je dodatno dodajanje detergenta vodilo do nejasnega in zadušenega zvoka, ki mu nisva mogli več določiti frekvence in tona. Podobno se je zgodilo tudi pri uporabi moke in riža, vendar je bil končen volumen, pri katerem sva še dosegli čist zvok, še nižji, pri moki je bilo to pri 240 ml, pri rižu pa pri 220 ml. Kljub temu, da sva pri uporabi določenega volumna moke in riža lahko določili frekvenco in ton, sva ugotovili, da je z vsakim povečevanjem dodanega volumna snovi zvok postajal bolj moten in nejasen. Pri rižu sva ugotovili tudi, da so se med nastajanjem zvoka ustvarile dodatne vibracije med posameznimi zrnci riža. Tudi pri vodi sva opazili dodatne vibracije (slika 19), saj je pri nastajanju zvoka vibrirala tudi gladina vode. Vibriranje je bilo bolj izrazito pri večjih volumnih vode.



Slika 18: Vpliv volumna različnih snovi v kozarcu 1 (velik) na frekvenco in ton ustvarjenega zvoka.



Slika 19: Vibracije na gladini vode pri ustvarjanju zvoka.

4.3.4 VPLIV HITROSTI DRSENJA PRSTA

Da bi preverili četrto hipotezo, pri kateri sva se spraševali, ali hitrost drsenja prsta po robu kozarca kakorkoli vpliva na ustvarjeni zvok, sva eksperiment ustvarjanja zvoka opravili tako, da sva z mokrim prstom poskušali po robu kozarca drseti z različno hitrostjo. Ta eksperiment sva opravili pri velikem kozarcu (kozarec 1, slika 9) in različnih volumnih dodane vode. V vseh primerih sva hitrost drsenja prsta spreminjali tako, da sva s prstom enkrat drseli počasi, drugič hitro. V obeh primerih sva z drsenjem prsta opravili 5 krogov po robu kozarca. S pomočjo izmerjenega notranjega premera kozarca (tabela 2) in izmerjenega časa sva po enačbi (2) izračunali hitrost. Dobljeni rezultati so predstavljeni v tabeli 6.

Tabela 6: Določitev hitrosti drsenja prsta po robu kozarca 1.

Čas (s)	Notranji premer (mm)	Obseg (5 krogov) (mm)	Hitrost (mm/s)
4	67	$5 \cdot \pi \cdot 67 = 1052,4$	263,1
7	67	$5 \cdot \pi \cdot 67 = 1052,4$	150,3

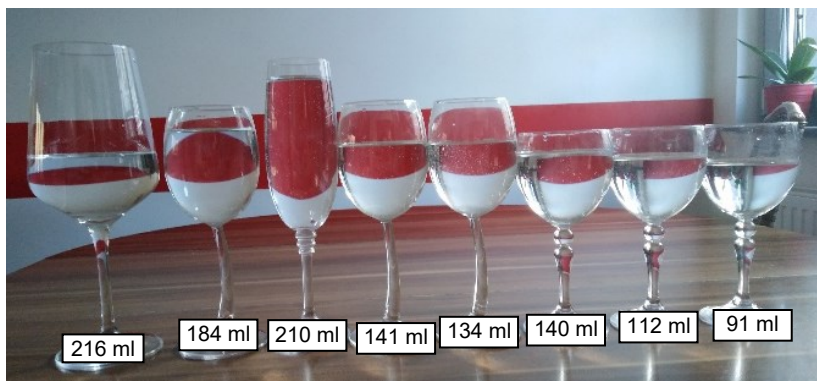
V vseh primerih se je pri enakem volumnu vode v kozarcu oglasil enak ton, ne glede na hitrost drsenja prsta. Iz rezultatov sva torej zaključili, da postavljena hipoteza ne drži. Poleg tega pa hitrost drsenja prsta tudi ni vplivala na to, kako hitro se je ton oglasil.

4.3.5 VPLIV VISKOZNOSTI TEKOČINE, S KATERO OMOČIMO PRST

Z zadnjo hipotezo sva želeli preveriti, ali tekočina, v katero je namočen prst pri izvajanju vibracij, vpliva na kvaliteto tona. V ta namen sva prst pomočili v olje, vodo, detergent, poskusili pa sva ustvariti zvok tudi s suhim prstom. Ko sva prst pomočili v sončnično olje, sva ugotovili, da zvoka nisva mogli ustvariti. Olje ima precej višjo viskoznost kot voda, zato pri drsenju ni prišlo do trenja, posledično pa ni bilo nobenih vibracij. Podobno je bilo tudi pri detergentu, ki ima prav tako višjo viskoznost kot voda. Zvoka prav tako nisva mogli ustvariti pri drsenju suhega prsta po robu kozarca. V tem primeru se je ustvarilo preveliko trenje, zaradi katerega prst ni pravilno drsel po robu kozarca. Posledično ni prišlo do vibracij, ki bi ustvarile zvok.

4.3.6 USTVARJANJE GLASBE

Seveda sva se s kozarci želeli tudi malo poigrati in poleg samih tonov ustvariti tudi melodijo. Ker sva v posameznih kozarcih lahko dosegli samo določene tone, sva si pomagali tako, da sva izbrali različne kozarce. Osem tonov lestvice sva dobili s pomočjo 4 različnih kozarcev, v katere sva natočili različno količino vode. Točno določene tone sva nato določili s pomočjo posluha in klavirja.



Slika 20: Različni kozarci z različno količino vode za lestvico od C1 do C2. [Osebni arhiv]

Kot lahko vidimo na sliki 20, so bile količine dodane vode v posameznem kozarcu različne. Če bi bili vsi kozarci enaki in dovolj veliki, bi se volumen zvezno spreminjal glede na višino tona. Ker pa sva imeli na voljo le kozarce različnih oblik in velikosti, sva morali količino dodane vode prilagajati.

5. RAZPRAVA

V sklopu prve hipoteze, ki pravi, da na ton vpliva oblika kozarca, sva proučevali vpliv različnih dimenzijskih parametrov na zvok, ki sva ga ustvarili z drsenjem mokrega prsta po različnih praznih kozarcih. Pri tem sva ugotovili, da vsi izmerjeni dimenzijski parametri kozarcev vplivajo na ustvarjen zvok, ki sva ga določili s frekvenco. Pri vseh izmerjenih dimenzijah sva ugotovili, da lahko določimo trend spreminjanja frekvence, razen pri notranjem premeru zgornjega roba kozarcev. V tem primeru so bili dobljeni rezultati tako razpršeni, da se trenda ni dalo ugotoviti. Očitno je, da notranji premer zgornjega roba kozarca sam po sebi ne vpliva na ustvarjeni zvok. Ta parameter ni bistven za ustvarjanje vibracij, ki vodijo do zvoka.

Pri nekaterih kozarcih sva ugotovili, da izkazujejo podobne ali celo enake dimenzije, pa vendar je bila frekvenca ustvarjenega zvoka precej drugačna. Tako sva na primer pri primerjavi velikega kozarec (kozarec 1) in kozarca z rdečim pecljem (kozarec 4), ki sta imela skoraj enaki globini (123 mm oziroma 125 mm), ugotovili, da je bila frekvenca zvoka, ki je bil ustvarjen s kozarcem z rdečim pecljem (1562 Hz) skoraj trikrat višja kot pri velikem kozarcu (531 Hz). Iz teh rezultatov lahko sklepamo, da globina kozarca sicer močno vpliva na frekvenco ustvarjenega tona, vendar pri kozarcih različnih oblik in dimenzij ni edini parameter, ki vpliva na frekvenco. Ko sva med sabo primerjali kozarce glede na najožji premer peclja, sva opazili, da sta imela dva kozarca (kozarec 1 in 2) enak najožji premer peclja (7,5 mm), vendar pa sta bili frekvenci ustvarjenega zvoka popolnoma različni. S kozarcem 1 sva dobili zvok s frekvenco 531 Hz, medtem ko je bila pri kozarcu 2 frekvenca ustvarjenega zvoka več kot dvakrat višja, to je 1156 Hz. Poleg tega sta imela tudi kozarca 4 in 5 enak najožji premer peclja, medtem ko sta bili frekvenci različni – pri kozarcu 4 sva določili frekvenco 1562 Hz, pri kozarcu 5 pa 1125 Hz. Očitno je, da pri različnih oblikah kozarcev ne moremo primerjati samo enega dimenzijskega parametra, ampak na frekvenco ustvarjenega zvoka vpliva celotna oblika kozarca. To pomeni, da je bila najina prva hipoteza pravilna in sva jo z dobljenimi rezultati potrdili.

Drugo hipotezo, ki pravi, da volumen tekočine v kozarcu vpliva na višino tona, sva proučevali s pomočjo kozarca 1 in vode. Ugotovili sva, da v istem kozarcu višina dodane vode vpliva na višino tona in sicer se z naraščajočim volumnom vode višina ustvarjenega tona znižuje. Zniževanje tona oziroma frekvence z naraščanjem količine

vode v kozarcu lahko pripišemo temu, da večja količina vode poveča maso nihajočega dela sten kozarca in v skladu z enačbo (1) se frekvenca nihanja zniža, kar posledično zniža tudi dobljeni ton. Iz dobljenih rezultatov sva torej tudi drugo hipotezo potrdili.

Najina tretja hipoteza se je nanašala na snovi, ki jih dodamo v kozarec. Poskusili sva ugotoviti, ali na višino tona vplivajo tudi fizikalne lastnosti, kot sta gostota in agregatno stanje, snovi v kozarcu. Rezultati določevanja gostote uporabljenih tekočin so pokazali, da je najvišjo gostoto izkazoval detergent za pomivanje posode, medtem ko je bila pri vodi in pomarančnem soku gostota podobna – okoli 1000 kg/m^3 . Pri uporabi tekočin s podobno gostoto (voda, pomarančni sok) sva ugotovili, da se ustvari podoben zvok pri enakih količinah dodane tekočine v kozarcu. Pri uporabi detergenta, pri katerem je bila gostota višja kot pri vodi in pomarančnem soku, pa sva lahko zvok ustvarili samo do določene količine detergenta v kozarcu. Pri večjih volumnih je bila zaradi višje gostote detergenta masa pri enakem volumnu višja, kar je povečalo maso nihajočega dela sten kozarca, zato je ustvarjen zvok izkazoval nižjo frekvenco oziroma ton. Podobno sva opazili tudi, ko sva v kozarec dodajali snovi v trdnem agregatnem stanju (moka in riž). Tako moka kot riž sta imela sicer nižjo gostoto od uporabljenih tekočin, vendar pri uporabi teh snovi nisva mogli ustvariti jasnega tona pri volumnih, višjih od 320 ml. Posamezna zrna riža in delci moke so bili v kozarcu razporejeni neenakomerno, tako da je bil med zrnji oziroma delci ujet zrak. Pri drsenju prsta po robu kozarca se je ustvarilo trenje, ki je povzročilo vibracije stene kozarca in tudi zrn ter delcev v kozarcu. Večji volumni zrn riža oziroma delcev moke pri tem niso vibrirali z isto frekvenco kot stena kozarca, zato se zvok ni razvil. Z dobljenimi rezultati smo torej potrdili, da fizikalne lastnosti snovi v kozarcu močno vplivajo na ustvarjen zvok.

Pri četrti hipotezi sva preverjali, kako hitrost drsenja prsta po robu kozarca vpliva na višino ustvarjenega tona. Ugotovili sva, da je za ustvarjanje zvoka pomembno pravilno drsenje prsta po robu, hitrost drsenja pa pri tem nima nobenega vpliva. Ne glede na to, kako hitro sva premikali prst, zvok je bil pri istem kozarcu z enako količino dodane snovi vedno enak. Rezultati tega eksperimenta četrte hipoteze niso potrdili, zato sva to hipotezo ovrgli.

V sklopu zadnje hipoteze sva želeli preveriti, ali na zvok vpliva tudi viskoznost tekočine, v katero pomočimo prst. Ugotovili sva, da je viskoznost tekočine, s katero omočimo prst zelo pomembna. Za doseganje ustreznega trenja, ki vodi do vibracij sten kozarca, mora biti prst navlažen s tekočino, ki ima dovolj veliko, a ne preveliko viskoznost.

Premajhna viskoznost namreč vodi do prevelikega trenja, prevelika viskoznost pa omogoča preveč mazavosti, zato se trenje, ki je potrebno za zvok, ne ustvari.

6. ZAKLJUČKI

V predstavljeni raziskovalni nalogi sva se osredotočili na ustvarjanje zvoka z drsenjem omočenega prsta po robu različnih kozarcev. Pri tem sva si postavili pet hipotez, ki sva jih z različnimi eksperimenti skušali dokazati. Že pri ustvarjanju tona s praznimi kozarci sva ugotovili, da na frekvenco zvoka in ton v prvi vrsti vpliva oblika kozarca, saj se je zvok ustvaril samo pri kozarcih na pečljih. Ugotovili sva, da so za ustvarjanje zvoka z drsenjem mokrega prsta po kozarcu primernejši višji kozarci s pečlji.

Prvo hipotezo sva potrdili z eksperimenti, pri katerih sva zvok ustvarjali v praznih kozarcih. Ugotovili sva, da na zvok vplivajo vsi izmerjeni dimenzijski parametri kozarcev. Pri vseh parametrih sva lahko določili trend spreminjanja frekvence nastalega zvoka, razen pri notranjem premeru zgornjega roba kozarcev. V tem primeru so bili dobljeni rezultati razpršeni, zato sva zaključili, da notranji premer zgornjega roba kozarca ni bistven za ustvarjanje vibracij in zato ne vpliva na višino frekvence ustvarjenega zvoka. Iz dobljenih rezultatov sva lahko zaključili, da se je pri uporabljenih kozarcih frekvenca ustvarjenega tona zniževala z naraščajočo višino pečlja, debelino stene in globino kozarca. Po drugi strani pa sva ugotovili, da je frekvenca z naraščajočim premerom pečlja in volumnom kozarca naraščala. Pri vsakem parametru sva ugotovili, da so rezultati pri nekaterih kozarcih odstopali od splošnega trenda, zato sva na koncu zaključili, da pri različnih oblikah kozarcev ne moremo primerjati samo enega dimenzijskega parametra, ampak na frekvenco ustvarjenega zvoka vpliva celotna oblika kozarca. To pomeni, da je bila najina prva hipoteza pravilna in sva jo z dobljenimi rezultati potrdili.

Rezultati so potrdili tudi drugo hipotezo, saj se je v istem kozarcu z naraščajočim volumnom vode višina ustvarjenega tona zniževala. To je bilo v skladu s teoretičnimi osnovami, saj se z naraščanjem količine vode v kozarcu poveča masa nihajočega dela sten kozarca, s čimer pa se frekvenca nihanja in posledično višina tona zniža.

V tretjem sklopu raziskave sva proučevali vpliv fizikalnih lastnosti snovi v kozarcu. Pri tekočinah s podobno gostoto (voda, pomarančni sok) se je višina frekvence oziroma tona z naraščajočim volumnom tekočine v kozarcu zmanjševala s podobnimi vrednostmi, medtem ko se je pri enakih količinah detergenta v kozarcu zvok ustvaril samo do določenega volumna detergenta v kozarcu. Prav tako tudi trdne snovi v kozarcu niso omogočale bistrega zvoka oziroma se zvok pri prevelikem volumnu teh

snovi v kozarcu ni ustvaril. Tretjo hipotezo, ki pravi, da fizikalne lastnosti vplivajo na višino ustvarjenega tona, sva torej potrdili.

Različna hitrost drsenja omočenega prsta po robu kozarca ni spremenila ustvarjenega zvoka, zato sva morali četrto hipotezo, ki pravi, da hitrost prsta, s katerim proizvajamo zvok na kozarcu, vpliva na višino ustvarjenega tona, ovreči.

Ker zvok nastane zaradi trenja, ki vodi do vibracij sten kozarca, je pomembno, da prst omočimo s tekočino, ki ima dovolj veliko, a ne preveliko viskoznost. Premajhna viskoznost namreč vodi do prevelikega trenja, prevelika viskoznost pa deluje kot mazivo, zato se trenje, ki je potrebno za zvok, ne ustvari. S tem je bila potrjena tudi četrta hipoteza, ki pravi, da viskoznost tekočine, s katero omočimo prst, vpliva na zvok.

7. VIRI IN LITERATURA

- [1] Steklo. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Steklo> [Uporabljeno 8-1-2022]
- [2] Glass Material Stock Photos And Images. Dosegljivo na URL: https://www.123rf.com/stock-photo/glass_material.html?sti=mkbng00ulfg2b1ns4v [Uporabljeno 8-1-2022]
- [3] O steklu. Dosegljivo na URL: <https://steklarstvo-stoiljkovic.si/stekla/> [Uporabljeno 8-1-2022]
- [4] Vrste stekla. Dosegljivo ns URL: <http://www.steklarstvo.eu/index.php?IDM=254> [Uporabljeno 8-1-2022]
- [5] History of Glass. Dosegljivo na URL: <http://www.historyofglass.com/> [Uporabljeno 10-1-2022]
- [6] Fran. Dosegljivo na URL: <https://fran.si/iskanje?View=1&Query=ton> [Uporabljeno 10-1-2022]
- [7] Ton. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Ton> [Uporabljeno 10-1-2022]
- [8] Durova lestvica. Dosegljivo na URL: https://sl.wikipedia.org/wiki/Durova_lestvica [Uporabljeno 8-2-2022]
- [9] Zvok. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Zvok> [Uporabljeno 10-1-2022]
- [10] Opis valovanja. Dosegljivo na URL: <https://eucbeniki.sio.si/nar7/1222/index2.html> [Uporabljeno 10-1-2022]
- [11] Osnovne informacije o hrupu. Dosegljivo na URL: <https://www.nijz.si/sl/osnovne-informacije-o-hrupu> [Uporabljeno 11-1-2022]
- [12] Kaj je zvok?. Dosegljivo na URL: <https://www.audiobm.si/zvok/> [Uporabljeno 11-1-2022]
- [13] Decibel. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Decibel> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [14] Godala. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Godala> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [15] Guitar. Dosegljivo na URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Guitar> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [16] Tolkala. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Tolkala> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [17] Pihala. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Pihala> [Uporabljeno 22-1-2022]

- [18] Trobila. Dosegljivo na URL: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Trobila> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [19] Glasbila s tipkami. Dosegljivo na URL: https://sl.wikipedia.org/wiki/Glasbila_s_tipkami [Uporabljeno 22-1-2022]
- [20] Godala. Dosegljivo na URL: <http://www.osdravlje.si/files/2020/03/godala.pdf> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [21] Martin Guitar. Dosegljivo na URL: <https://www.martinguitar.com/guitars/standard-series/00-18.html> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [22] Glasbila. Dosegljivo na URL <https://www.melodija.si/orffov-instrumentarij/ksilofoni/ksilofon-alt-ax-1600-studio-49> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [23] Pihala. Dosegljivo na URL: <https://www.ceneje.si/Nasvet/223/pihala> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [24] 5 trobil, ki jih morate poznati. Dosegljivo na URL: <https://www.slovenija2050.si/5-trobil> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [25] Gear4music. Dosegljivo na URL: <https://www.gear4music.si/sl/Klaviature-in-klavirji/GDP-500-Digital-Grand-Piano-by-Gear4music/ZZEC> [Uporabljeno 22-1-2022]
- [26] Examples of Sliding Friction: What It Is in Simple Terms. Dosegljivo na URL: <https://examples.yourdictionary.com/examples-of-sliding-friction.html> [Uporabljeno 28-1-2022]
- [27] Viskoznost. <http://ekemija.osbos.si/e-gradivo/ostale-lastnosti-snovi/viskoznost.html> [Uporabljeno 28-1-2022]
- [28] C. Boone, M. Galloway, M.J. Ruiz, *Fun with Singing Wine Glasses*, Physics Education 53, 2018
- [29] Pojoci kozarci, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, http://projlab.fmf.uni-lj.si/arhiv/2007_08/naloge/izdelki/pojoci%20kozarci/projekt.html [Uporabljeno 28-1-2022]
- [30] Scientific America, Singing glasses, <https://www.scientificamerican.com/article/singing-glasses1/>, [Uporabljeno 28-1-2022]
- [31] Tabela tonskih frekvenc. Dosegljivo na URL: https://sl.wikipedia.org/wiki/Tabela_tonskih_frekvenc [Uporabljeno 28-1-2022].