

OSNOVNA ŠOLA KARLA DESTOVNIKA-KAJUHA ŠOŠTANJ

Koroška cesta 7, 3325 Šoštanj

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA

## **Preučevanje vpliva gostote tekočin na akustične in vibracijske lastnosti**

Tematsko področje: fizika

Avtorja:

Jure Ojsteršek, 9. razred

Jan Zajc, 9. razred

Mentorica:

Barbara Zupan, prof. matematike

Velenje, 2026

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Karla Destovnika-Kajuha Šoštanj.

Mentorica: Barbara Zupan, prof. matematike

Datum predstavitve: marec 2026

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Osnovna šola Karla Destovnika-Kajuha Šoštanj, šolsko leto 2025/2026
- KG voda, sončnično olje, valovanje, vibracije, zvok
- AV OJSTERŠEK, Jure / ZAJC, Jan
- SA ZUPAN, Barbara
- KZ 3325 Šoštanj, SLO, Koroška cesta 7
- ZA Osnovna šola Karla Destovnika-Kajuha Šoštanj
- LI 2026
- IN **PREUČEVANJE VPLIVA GOSTOTE TEKOČIN NA AKUSTIČNE IN  
VIBRACIJSKE LASTNOSTI**
- TD Raziskovalna naloga
- OP VI, 28. str., 5 sl., 6 graf., 1 pril., 10 vir.
- IJ sl
- JI sl/en

AI Raziskovalna naloga obravnava vpliv zvoka na gibanje in strukturo vode pri zvočno vzbujenem vodnem curku. Namen raziskave je preučiti, kako mehanske vibracije, ki jih povzroča zvok določene frekvence, vplivajo na obnašanje vode med iztekanjem iz šobe. V eksperimentu je zvočni vir mehansko povezan s šobo, skozi katero teče voda, zato se zvočni valovi prenašajo neposredno na vodo v obliki periodičnih mehanskih nihanj. Med delovanjem zvoka različnih frekvenc se opazuje sprememba stabilnosti vodnega curka, njegov razpad na kapljice ter nastanek začasnih struktur in vzorcev v prostoru. Posebna pozornost je namenjena vplivu frekvence zvoka, saj ta določa razdaljo med kapljicami, obliko curka in pojav navidezno stabilnih struktur. Pri določenih frekvencah pride do sinhronizacije gibanja vodnega curka z zvočnim vzbujanjem, kar povzroči izrazite in ponovljive vzorce. Rezultati raziskave se razlagajo s pomočjo teorije mehanskega valovanja, prenosa vibracij v tekočinah, površinske napetosti in resonančnih pojavov v sistemu voda – šoba. Raziskava temelji na predpostavki, da zvok ne spreminja kemijske sestave vode, temveč vpliva izključno na njeno mehansko obnašanje. Namen naloge je pokazati, da ima zvok kot mehansko valovanje pomemben in opazen vpliv na gibanje tekočin, ki ga je mogoče eksperimentalno opazovati in fizikalno razložiti.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Osnovna šola Karla Destovnika-Kajuha Šoštanj, 2025/2026

CX water, sunflower oil, waves, vibrations, sound

AU OJSTERŠEK, Jure / ZAJC, Jan

AA ZUPAN, Barbara

PP 3325 Šoštanj, SLO, Koroška cesta 7

PB Osnovna šola Karla Destovnika-Kajuha Šoštanj

PY 2026

TI **STUDYING THE INFLUENCE OF LIQUID DENSITY ON ACOUSTIC AND  
VIBRATIONAL PROPERTIES**

DT Research work

NO VI, 28 p., 5 fig., 6 graf., 1. ann., 10 ref.

LA SL

AL sl/en

AB The research task deals with the influence of sound on the movement and structure of water in a sound-excited water jet. The purpose of the research is to study how mechanical vibrations caused by sound of a certain frequency affect the behaviour of water as it flows out of the nozzle. In the experiment, the sound source is mechanically connected to the nozzle through which water flows, so sound waves are transmitted directly to the water in the form of periodic mechanical oscillations. During the action of sound of different frequencies, a change in the stability of the water jet is observed, its disintegration into droplets and the formation of temporary structures and patterns in space. Special attention is paid to the influence of the sound frequency, as it determines the distance between the droplets, the shape of the jet and the appearance of seemingly stable structures. At certain frequencies, the movement of the water jet is synchronized with the sound excitation, which results in distinct and repeatable patterns. The results of the research are interpreted using the theory of mechanical waves, the transmission of vibrations in liquids, surface tension and resonance phenomena in the water-nozzle system. The research assumes that sound does not change the chemical composition of water, but only affects its mechanical behaviour. The purpose of the task is to show that sound,

as a mechanical wave, has a significant and noticeable effect on the movement of liquids, which can be observed experimentally and explained physically.

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD .....	1
2	TEORETIČNE OSNOVE .....	5
2.1	ZVOK KOT MEHANSKO VALOVANJE .....	5
2.2	ŠIRJENJE ZVOKA V VODI .....	5
2.3	FIZIKALNE LASTNOSTI VODE .....	6
2.4	GIBANJE VODNEGA CURKA .....	7
2.5	VPLIV FREKVENCE ZVOKA NA GIBANJE VODE .....	7
2.6	STOJEČI VALOVI IN RESONANCA .....	7
2.7	STRUKTURA VODE IN VPLIV ZVOKA .....	8
2.8	FIZIKALNE IN AKUSTIČNE LASTNOSTI SONČNIČNEGA OLJA .....	8
2.9	GOSTOTA SONČNIČNEGA OLJA .....	8
2.10	VISKOZNOST IN NOTRANJE TRENJE .....	9
2.11	POVRŠINSKA NAPETOST .....	9
2.12	ŠIRJENJE ZVOKA V SONČNIČNEM OLJU .....	10
2.13	PRIMERJAVA VODA – SONČNIČNO OLJE .....	10
3	EKSPERIMENTALNI DEL .....	12
3.1	RAZISKOVALNO VPRAŠANJE .....	12
3.2	PRIPOMOČKI .....	12
3.3	POSTAVITEV EKSPERIMENTA .....	13
3.4	POTEK EKSPERIMENTA .....	13
3.5	SPREMENLJIVKE .....	14
3.6	VARNOSTNI VIDIKI IN OMEJITVE EKSPERIMENTA .....	14
4	REZULTATI .....	16
5	PREVERJANJE HIPOTEZ .....	22
6	ZAKLJUČEK .....	23
7	POVZETEK .....	25
8	SUMMARY .....	26
9	VIRI IN LITERATURA .....	27
10	ZAHVALA .....	28

## KAZALO SLIK

Slika 1: Trganje vodnega curka v kapljice .....	16
Slika 2: Višja frekvenca zvoka ter oblika vodnega curka .....	19
Slika 3: Nižja frekvenca zvoka ter oblika vodnega curka .....	19
Slika 4: Višja frekvenca zvoka in oblika oljnega curka .....	20
Slika 5: Nižja frekvenca zvoka in oblika oljnega curka .....	20

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Primerjava viskoznosti tekočin .....	11
Graf 2: Graf hitrosti frekvence zvoka za nastanek vodnih kapljic .....	16
Graf 3: Razmik kapljic glede na frekvenco vode .....	17
Graf 4: Razmik kapljic glede na frekvenco sončničnega olja .....	17
Graf 5: Dolžina curka glede na frekvenco vode .....	18
Graf 6: Dolžina curka glede na frekvenco sončničnega olja .....	18

## 1 UVOD

Zvok je fizikalni pojav, ki ga človek v vsakdanjem življenju večinoma povezuje s sluhom in zaznavanjem okolice. Uporabljamo ga za sporazumevanje, poslušanje glasbe in orientacijo v prostoru. Vendar zvok ni le zaznavni pojav, temveč predstavlja mehansko valovanje, ki se širi skozi snov in prenaša energijo. Ta energija lahko povzroča mehanske učinke v mediju, skozi katerega se zvok širi, kar pomeni, da zvok lahko vpliva tudi na gibanje snovi.

V naravoslovju in tehniki je znano, da se zvok širi ne le v zraku, temveč tudi v tekočinah in trdnih snoveh. V tekočinah, zlasti v vodi, je širjenje zvoka zelo učinkovito, saj so delci tesno razporejeni in omogočajo hiter prenos mehanskih vibracij. Zaradi tega ima zvok v vodi izrazitejši mehanski vpliv kot v zraku. Ta vpliv je lahko dovolj močan, da povzroči opazne spremembe v gibanju tekočine.

Raziskovanje vpliva zvoka na vodo je zanimivo z več vidikov. Po eni strani omogoča razumevanje osnovnih fizikalnih zakonov, kot so mehansko valovanje, prenos energije in obnašanje tekočin. Po drugi strani pa ima takšno raziskovanje tudi praktičen pomen, saj se zvok in vibracije uporabljajo v številnih tehnoloških postopkih, na primer pri razprševanju tekočin, ultrazvočnem čiščenju in industrijskih procesih.

Eden izmed najbolj izrazitih in vizualno zanimivih primerov vpliva zvoka na vodo je pojav, ko zvočne vibracije delujejo neposredno na tekočino v gibanju. Posebej primeren primer za takšno opazovanje je vodni curek, ki izteka skozi šobo. Šoba predstavlja iztočno odprtino, skozi katero voda zapusti sistem in se oblikuje v curek. Oblika in stabilnost tega curka sta odvisni od več dejavnikov, med katerimi so hitrost pretoka, površinska napetost vode, gravitacija in zunanje motnje.

V normalnih pogojih vodni curek ni popolnoma stabilen. Zaradi površinske napetosti in naravnih motenj se sčasoma razbije na kapljice. Ta pojav je v fiziki dobro znan in je posledica nestabilnosti tekočinskega curka. Že zelo majhne zunanje motnje lahko vplivajo na to, kje in kako se curek razbije. Prav to lastnost vodnega curka izkorišča eksperiment, opisan v tej raziskovalni nalogi.

Ko je šoba mehansko povezana z virom zvoka, zvočni signal ne deluje več zgolj kot zvočno valovanje v zraku. V tem primeru zvok povzroča mehanske vibracije, ki se neposredno

prenašajo na šobo in na vodo v njej. Tako nastane sistem voda – šoba, ki niha s frekvenco zvočnega signala. Te vibracije povzročijo periodične motnje v vodnem curku že ob njegovem iztoku.

Zvočne vibracije tako delujejo kot urejen vir motenj, ki nadomesti naključne zunanje vplive. Posledično se razpad vodnega curka ne zgodi naključno, temveč postane urejen in ponovljiv. Razdalja med posameznimi kapljicami, njihova velikost in razporeditev v prostoru so neposredno povezane s frekvenco zvoka, s katerim je šoba vzbujena.

Posebej zanimiv pojav nastopi pri določenih frekvencah zvoka. Takrat pride do sinhronizacije gibanja vodnega curka z mehanskimi vibracijami šobe. Razpad curka postane zelo pravilen, strukture v prostoru pa delujejo navidezno stabilne. Opazovalcu se lahko zdi, da curek miruje ali lebdi v zraku, čeprav voda v resnici neprekinjeno teče. Ta pojav je posledica ujemanja frekvence vzbujanja z naravnimi lastnostmi sistema.

Takšni pojavi niso le vizualno zanimivi, temveč imajo jasno fizikalno razlago. Temeljijo na prenosu mehanskih vibracij, površinski napetosti vode in resonančnih pojavih. Vodni curek v tem primeru deluje kot zelo občutljiv indikator mehanskih nihanj, saj že majhne spremembe frekvence povzročijo opazne spremembe v njegovi obliki.

Pomembno je poudariti, da raziskava ne obravnava sprememb kemijske sestave vode. Molekule vode ostajajo nespremenjene, prav tako se ne spreminjajo njene osnovne kemijske lastnosti. Izraz »struktura vode«, uporabljen v tej raziskovalni nalogi, se nanaša izključno na makroskopsko razporeditev in gibanje tekočine, ki nastane kot posledica mehanskega delovanja zvoka.

Raziskovanje vpliva zvoka na vodni curek omogoča neposredno povezavo med teorijo in prakso. Teoretični pojmi, kot so frekvenca, amplituda, mehansko valovanje in resonanca, postanejo razumljivejši, ko jih opazujemo na konkretnem eksperimentalnem primeru. Eksperiment s šobo je hkrati dovolj preprost, da ga je mogoče izvesti v šolskem okolju, in dovolj bogat, da omogoča poglobljeno analizo.

Raziskovalna naloga je zasnovana tako, da združuje teoretično razlago fizikalnih pojavov in eksperimentalno opazovanje. V ospredju je vpliv frekvence zvoka na obnašanje vodnega curka.

Spreminjanje frekvence omogoča opazovanje različnih načinov razpada curka in nastanka struktur, kar omogoča preverjanje teoretičnih napovedi.

Naloga ima tudi pomembno izobraževalno vrednost. Spodbuja razumevanje fizike kot eksperimentalne znanosti, pri kateri se zakoni narave ne le opisujejo, temveč tudi preverjajo s poskusi. Poleg tega razvija sposobnost opazovanja, analiziranja in razlaganja pojavov, kar so ključne veščine pri naravoslovnem raziskovanju.

Na koncu lahko poudarimo, da je vpliv zvoka na vodni curek primer fizikalnega pojava, kjer se preprosta eksperimentalna postavitev sreča s kompleksnim obnašanjem sistema. Prav ta kombinacija omogoča zanimivo in poučno raziskavo, ki je primerna za raziskovalno nalogo in omogoča poglobljeno razumevanje mehanskega delovanja zvoka na tekočine.

Poleg vode je za raziskavo zanimiva tudi druga tekočina, na primer sončnično olje. Čeprav se na prvi pogled zdi podobno vodi, se od nje razlikuje po pomembnih fizikalnih lastnostih, kot so gostota, viskoznost in površinska napetost. Te razlike vplivajo na način, kako se tekočina odziva na mehanske vibracije.

Sončnično olje ima nekoliko manjšo gostoto kot voda, vendar bistveno večjo viskoznost. Viskoznost predstavlja notranje trenje med plastmi tekočine. Zaradi večje viskoznosti se gibanje delcev v olju počasneje prilagaja zunanjim motnjam, vibracije pa se hitreje dušijo. To pomeni, da se mehanska energija, ki jo povzroča zvočno vzbujanje šobe, v olju ne prenaša enako učinkovito kot v vodi.

Ko šobo mehansko vzbujamo z določeno frekvenco, vibracije vplivajo tudi na curek sončničnega olja. Vendar je zaradi večjega notranjega trenja razpad curka počasnejši, kapljice so pogosto večje, razdalje med njimi pa drugačne kot pri vodi. Strukture, ki nastanejo v prostoru, so lahko manj ostre in manj izrazite, saj viskoznost zmanjšuje amplitudo nihanja tekočine.

Podobno kot pri vodi tudi pri olju razpad curka ni povsem naključen. Površinska napetost povzroča naravno nestabilnost, mehanske vibracije pa določajo, kako in kje se ta nestabilnost razvije. Čeprav so pojavi pri olju manj izraziti, še vedno omogočajo opazovanje vpliva frekvence na razporeditev kapljic.

Primerjava vode in sončničnega olja tako omogoča širše razumevanje vpliva fizikalnih lastnosti tekočin na njihovo akustično in vibracijsko obnašanje. Medtem ko voda zaradi manjše viskoznosti kaže izrazitejšo in bolj stabilno strukturo, olje zaradi večjega dušenja ponuja primer tekočine, kjer so učinki vibracij blažji. S tem raziskava preseže zgolj opazovanje enega medija in omogoča analizo vpliva gostote ter viskoznosti na mehanski odziv tekočin.

Takšna primerjava dodatno obogati eksperimentalni pristop, saj pokaže, da vibracijsko vzbujanje ne deluje enako na vse tekočine. S tem se poudari pomen fizikalnih lastnosti snovi pri razlagi opaženih pojavov in razširi razumevanje mehanskega delovanja zvoka na različne tekoče medije.

## **2 TEORETIČNE OSNOVE**

### **2.1 ZVOK KOT MEHANSKO VALOVANJE**

Zvok je mehansko valovanje, ki nastane zaradi nihanja telesa in se širi skozi snov v obliki periodičnih mehanskih motenj. Ker gre za mehansko valovanje, zvok za svoje širjenje potrebuje medij, v katerem se lahko delci gibljejo. Zvok se zato ne more širiti v vakuumu, temveč le v plinih, tekočinah in trdnih snoveh.

Pri nastanku zvoka vir povzroči nihanje delcev v svoji okolici. Ti delci začnejo nihati okoli ravnovesne lege in s tem prenašajo energijo na sosednje delce. Pomembno je poudariti, da se pri širjenju zvoka snov ne prenaša, temveč se prenaša energija nihanja. Delci zgolj nihajo okoli svojih ravnovesnih položajev.

V tekočinah, kot je voda, se zvok širi v obliki longitudinalnih valov. To pomeni, da delci nihajo v smeri širjenja vala. Pri tem nastajajo območja povečanega in zmanjšanega tlaka, ki se periodično izmenjujejo. Prav te tlačne spremembe so bistvene za razumevanje vpliva zvoka na gibanje vode v eksperimentu.

V obravnavanem eksperimentu zvok ne deluje le kot zvočno valovanje v zraku, temveč kot vir mehanskih vibracij. Zvočnik povzroča periodično nihanje, ki se preko trdne povezave prenese na šobo in vodo v njej. Zvok tako postane neposreden vir mehanskega vzbujanja tekočine.

### **2.2 ŠIRJENJE ZVOKA V VODI**

Voda ima drugačne fizikalne lastnosti kot zrak, zato se zvok v njej širi hitreje in učinkoviteje. Hitrost zvoka v vodi pri sobni temperaturi znaša približno 1500 m/s, kar je več kot štirikrat več kot v zraku. To pomeni, da se mehanske motnje v vodi zelo hitro prenašajo.

Zvok v vodi povzroča periodične spremembe tlaka, ki se širijo skozi tekočino. Molekule vode zaradi teh sprememb tlaka nihajo okoli svojih ravnovesnih položajev. Ker so molekule vode tesno skupaj, se nihanje hitro prenaša na sosednje molekule, kar omogoča učinkovito širjenje zvočnega vala.

V eksperimentu s šobo je širjenje zvoka v vodi omejeno na majhen volumen tekočine v cevi in šobi. Kljub temu ima zvok pomemben vpliv, saj se vibracije prenašajo neposredno na vodo tik pred iztokom. Ta neposreden prenos energije povzroči periodične motnje v vodnem curku, ki izteka iz šobe.

Poseben pomen ima dejstvo, da se zvok v vodi odbija od sten cevi in šobe. Odbiti valovi lahko vplivajo na lokalno porazdelitev tlaka in s tem na obnašanje curka. To je pomembno pri razlagi ponovljivosti struktur, ki nastanejo pri določenih frekvencah.

### **2.3 FIZIKALNE LASTNOSTI VODE**

Voda ima številne fizikalne lastnosti, ki odločilno vplivajo na obnašanje vodnega curka. Ena najpomembnejših lastnosti je gostota, ki pri sobni temperaturi znaša približno  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Zaradi relativno velike gostote ima voda precejšnjo vztrajnost, kar pomeni, da se na zunanje vplive ne odzove takoj, temveč z določeno zakasnitvijo.

Pomembna lastnost je tudi viskoznost, ki opisuje notranje trenje tekočine. Viskoznost vode je razmeroma nizka, kar omogoča, da se vodni curek lahko oblikuje in ohranja določeno razdaljo, preden se razbije. Hkrati viskoznost vpliva na to, kako hitro se motnje v curku dušijo.

Ključno vlogo ima tudi površinska napetost. Površinska napetost povzroča, da se voda na površini obnaša kot elastična membrana. Prav ta lastnost je odgovorna za to, da se vodni curek naravno razbije na kapljice. Površinska napetost skuša zmanjšati površino tekočine, kar vodi do razpada curka.

Voda je tudi slabo stisljiva, kar pomeni, da se njen volumen pri delovanju tlaka le malo spremeni. Ta lastnost omogoča učinkovito širjenje tlačnih valov in s tem zvočnih vibracij. Zaradi tega ima zvok v vodi izrazit mehanski učinek, ki se kaže v gibanju tekočine.

## **2.4 GIBANJE VODNEGA CURKA**

Vodni curek, ki izteka skozi šobo, predstavlja tekočino v gibanju. Njegovo obnašanje je odvisno od hitrosti iztekanja, premera šobe, lastnosti vode in zunanjih vplivov. V idealnih pogojih bi bil curek popolnoma enakomeren, vendar v praksi vedno vsebuje motnje.

Zaradi površinske napetosti je vodni curek naravno nestabilen. Sčasoma se razbije na kapljice, saj takšna oblika zmanjšuje energijo sistema. Ta pojav je znan kot nestabilnost tekočinskega curka.

V eksperimentu z zvokom zvočne vibracije delujejo kot urejen vir motenj. Namesto naključnih motenj zvok povzroča periodične motnje z določeno frekvenco. To pomeni, da se razpad curka ne zgodi naključno, temveč urejeno in ponovljivo.

## **2.5 VPLIV FREKVENCE ZVOKA NA GIBANJE VODE**

Frekvenca zvoka določa, kako pogosto se mehanske vibracije ponavljajo. V eksperimentu to pomeni, da frekvenca določa, kako pogosto se v vodnem curku pojavijo motnje. Pri nizkih frekvencah so motnje redkejšje, pri višjih pa pogostejše.

Pri določenih frekvencah se razpad curka zgodi zelo pravilno. Razdalja med kapljicami je povezana s frekvenco zvoka in hitrostjo iztekanja vode. Višja frekvenca povzroči manjši razmik med kapljicami, nižja frekvenca pa večji razmik.

Sprememba frekvence omogoča nadzor nad obliko curka in razporedom kapljic. To jasno kaže, da ima zvok neposreden vpliv na gibanje vode v curku.

## **2.6 STOJEČI VALOVI IN REZONANCA**

Pri določenih frekvencah lahko pride do pojava resonance. Resonanca nastane, ko frekvenca zvočnega vzbujanja ustreza naravni frekvenci sistema voda – šoba. Takrat se energija zelo učinkovito prenaša na tekočino.

Posledica resonance je povečana amplituda nihanja, kar se kaže kot izrazit in stabilen razpad curka. Strukture, ki nastanejo, so ponovljive in jasno vidne. V tem primeru vodni curek deluje kot resonančni sistem.

## **2.7 STRUKTURA VODE IN VPLIV ZVOKA**

Izraz struktura vode v tej raziskovalni nalogi pomeni razporeditev in gibanje vode v prostoru. Zvok ne spreminja kemijske sestave vode, temveč vpliva na njeno mehansko obnašanje.

Zvočne vibracije povzročijo urejeno gibanje delcev, kar vodi do nastanka začasnih struktur v vodnem curku. Te strukture obstajajo le, dokler deluje zvok, in so neposredno povezane s frekvenco in jakostjo zvočnega vzburjanja.

Razumevanje teh struktur omogoča razlago opazovanih pojavov in potrjuje, da je vpliv zvoka na vodni curek povsem fizikalne narave.

## **2.8 FIZIKALNE IN AKUSTIČNE LASTNOSTI SONČNIČNEGA OLJA**

Sončnično olje je tekočina organskega izvora, ki se po svojih fizikalnih lastnostih bistveno razlikuje od vode. Te razlike imajo pomemben vpliv na njegovo obnašanje pri mehanskem in akustičnem vzburjanju.

## **2.9 GOSTOTA SONČNIČNEGA OLJA**

Gostota sončničnega olja pri sobni temperaturi znaša približno  $880 - 920 \text{ kg/m}^3$ , kar je manj kot gostota vode ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ). Manjša gostota pomeni, da ima olje nekoliko manjšo maso na enoto prostornine, kar vpliva na njegovo vztrajnost pri mehanskem gibanju.

Pri akustičnem vzburjanju gostota vpliva na:

- hitrost širjenja zvoka v tekočini,

- prenos vibracijske energije,
- odziv tekočine na periodične motnje.

Čeprav ima olje manjšo gostoto kot voda, je njegov mehanski odziv na vibracije drugačen predvsem zaradi drugih lastnosti, zlasti viskoznosti.

## **2.10 VISKOZNOST IN NOTRANJE TRENJE**

Največja razlika med vodo in sončničnim oljem je v viskoznosti. Sončnično olje ima večkrat večjo viskoznost kot voda. To pomeni, da ima večje notranje trenje med molekulami.

Posledice večje viskoznosti pri vibracijskem vzburjanju so:

- vibracije se hitreje dušijo,
- energija zvoka se počasneje prenaša,
- nastanek struktur je bolj zadušen in manj izrazit.

V eksperimentu s šobo to pomeni, da je vodni curek pri olju stabilnejši in se razbije na kapljice na večji razdalji od šobe.

## **2.11 POVRŠINSKA NAPETOST**

Sončnično olje ima nekoliko nižjo površinsko napetost kot voda. Površinska napetost vpliva na razpad curka, saj tekočina teži k zmanjšanju svoje površine.

Pri olju:

- razpad curka je počasnejši,
- kapljice so pogosto večje,
- strukture so mehkejše in manj izrazite.

## 2.12 ŠIRJENJE ZVOKA V SONČNIČNEM OLJU

Zvok se tudi v olju širi v obliki longitudinalnih tlačnih valov. Hitrost zvoka v rastlinskih oljih je približno 1300 – 1450 m/s, kar je nekoliko manj kot v vodi.

Zaradi večje viskoznosti pa je prenos vibracij manj učinkovit. To pomeni, da akustična energija hitreje prehaja v toploto zaradi notranjega trenja.

Pri vibracijskem vzbujanju šobe to pomeni:

- manj izrazita resonanca,
- manj ostre strukture v curku,
- bolj gladek prehod med razpadom in stabilnim tokom.

## 2.13 PRIMERJAVA VODA – SONČNIČNO OLJE

Pri eksperimentu z vodnim curkom je bilo opaziti:

- izrazite, ostre strukture,
- jasno periodičen razpad,
- močno sinhronizacijo pri določenih frekvencah.

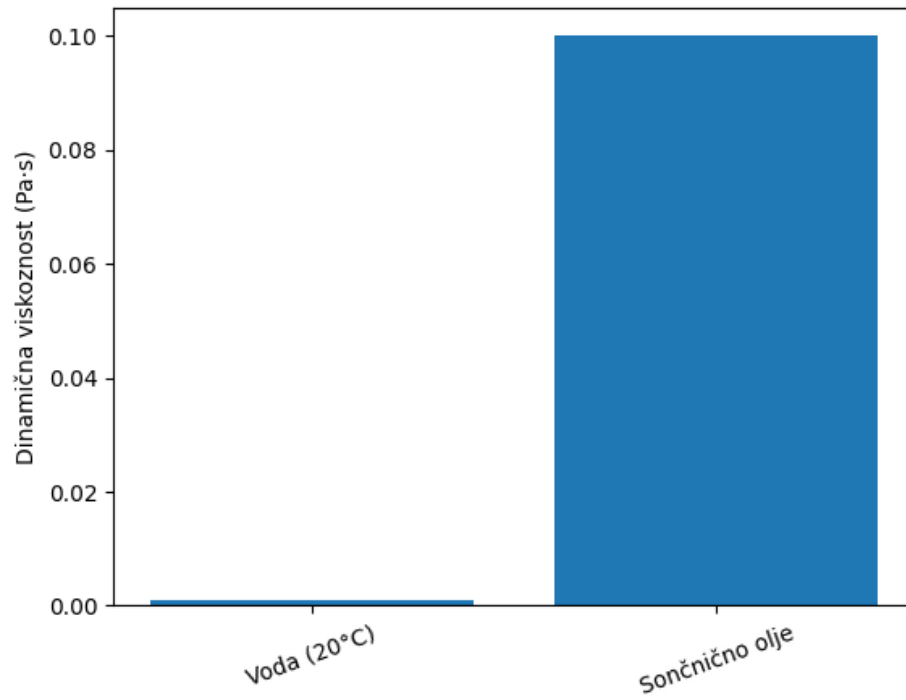
Pri sončničnem olju bi pričakovali:

- daljši zvezni curek,
- večji razmik med kapljicami,
- manj izrazito resonanco,
- bolj dušene vibracijske učinke.

To kaže, da gostota sama po sebi ni edini odločilni faktor. Pomembna je kombinacija:

- gostote,
- viskoznosti,
- površinske napetosti,

- hitrosti zvoka v tekočini.



Graf 1: Primerjava viskoznosti tekočin

### **3 EKSPERIMENTALNI DEL**

#### **3.1 RAZISKOVALNO VPRAŠANJE**

Osnovno raziskovalno vprašanje te raziskovalne naloge je: Kako frekvenca mehanskega zvočnega vzbujanja vpliva na stabilnost tekočinskega curka, njegov razpad in nastanek struktur pri iztekanju vode in sončničnega olja skozi šobo?

Raziskava je zasnovana kot primerjalna analiza dveh tekočin z različnimi fizikalnimi lastnostmi. Zanimalo nas je, ali se mehanski odziv tekočine na vibracije razlikuje glede na gostoto in viskoznost ter kako se te razlike odražajo v obliki curka, velikosti kapljic in stabilnosti struktur.

#### **3.2 PRIPOMOČKI**

Za izvedbo eksperimenta so bili uporabljeni naslednji pripomočki:

- vir vode (vodovod ali posoda z neprekinjenim dotokom),
- vir sončničnega jedilnega olja (posoda z neprekinjenim dovodom olja),
- cev za dovod tekočine,
- šoba oziroma iztočna odprtina za oblikovanje curka,
- zvočnik ali mehanski vibrator,
- generator zvočnega signala (aplikacija ali računalniški program),
- ojačevalnik (če je bil potreben),
- stojalo ali nosilec za pritrditev šobe,
- posoda za zbiranje tekočine,
- merilni pripomočki (ravnalo ali merilni trak),
- kamera ali mobilni telefon za snemanje dogajanja.

Uporaba dveh ločenih virov tekočine je omogočila izvedbo eksperimenta pod primerljivimi pogoji za vodo in olje.

### 3.3 POSTAVITEV EKSPERIMENTA

Eksperimentalna postavitvev je bila zasnovana tako, da so se mehanske vibracije zvočnega izvora neposredno prenašale na šobo in tekočino v njej. Šoba je bila trdno pritrjena na nosilec, nanjo pa je bil mehansko povezan zvočnik oziroma vibrator.

Sistem je omogočal dovod tako vode kot sončničnega olja skozi isto šobo. Vsaka tekočina je bila v eksperiment vključena ločeno, vendar pri enaki postavitvi in enakih zunanjih pogojih.

Tekočina je skozi cev neprekinjeno dotekala do šobe in iztekala v obliki navpičnega curka. Pod curkom je bila nameščena zbirna posoda, ki je omogočala stalni pretok in ponovljivost meritev.

Generator frekvence je omogočal nastavljanje različnih frekvenc vibracij. Vibracije so se preko mehanske povezave prenašale neposredno na šobo in nato na tekočino, ki je iztekala skozi njo.

Postavitvev je bila zasnovana tako, da so bili zunanji vplivi čim manjši. Eksperiment je potekal v mirnem prostoru brez dodatnih vibracij in zračnih tokov.

### 3.4 POTEK EKSPERIMENTA

Eksperiment je potekal ločeno za vodo in sončnično olje.

Najprej je bil nastavljen enakomeren pretok vode brez zvočnega vzbujanja. Opazovan je bil naravni razpad vodnega curka, ki je služil kot referenčno stanje. Nato je bil vključen zvočni vir, pri čemer je bila sprva nastavljena nizka frekvenca. Opazovane so bile spremembe v stabilnosti curka, razpadu na kapljice in nastanku struktur.

Frekvenca zvoka se je postopoma povečevala. Pri vsaki frekvenci je bil curek opazovan dovolj dolgo, da so se pojavile stabilne ali ponovljive strukture.

Po zaključku meritev z vodo je bil sistem očiščen, nato pa je bil vzpostavljen enakomeren pretok sončničnega olja. Postopek je bil popolnoma enak kot pri vodi. Najprej je bil opazovan naravni razpad oljnega curka brez vibracij, nato pa še odziv na različne frekvence mehanskega vzbujanja.

Dogajanje pri obeh tekočinah je bilo dokumentirano s fotografiranjem in snemanjem videoposnetkov, kar je omogočilo kasnejšo primerjalno analizo.

### **3.5 SPREMENLJIVKE**

V eksperimentu so bile določene naslednje spremenljivke:

Neodvisna spremenljivka:

- frekvenca zvočnega signala.

Odvisne spremenljivke:

- oblika tekočinskega curka,
- razpad curka na kapljice,
- razmik med kapljicami,
- pojav struktur in njihova stabilnost.

Kontrolne spremenljivke:

- vrsta uporabljene šobe,
- pretok tekočine,
- temperatura tekočine,
- razdalja med šobo in zbirno posodo,
- položaj in pritrditev zvočnika.

Pri primerjavi vode in olja je bila posebej pomembna dosledna uporaba enakih pogojev, da so bile razlike posledica lastnosti tekočine in ne sprememb v postavitvi.

### **3.6 VARNOSTNI VIDIKI IN OMEJITVE EKSPERIMENTA**

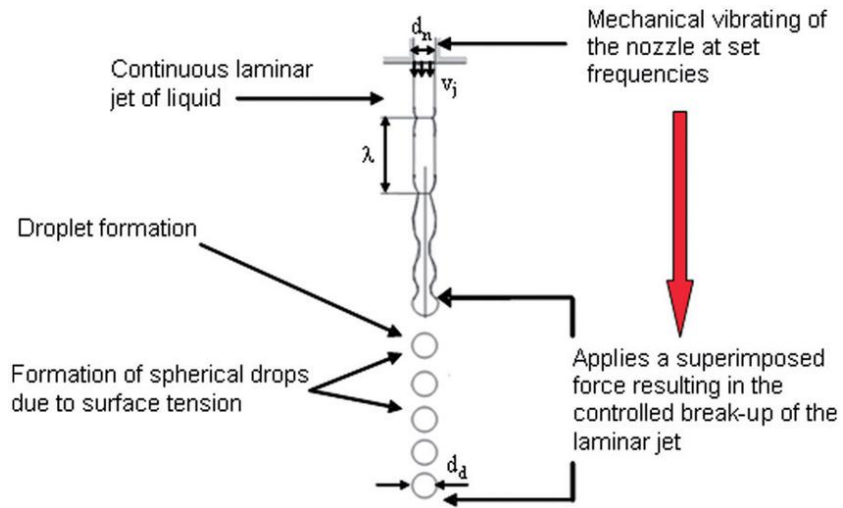
Pri izvedbi eksperimenta je bila upoštevana osnovna varnost. Zaradi uporabe tekočin in električne opreme je bilo potrebno zagotoviti, da zvočnik, kabli in električne naprave niso prišli v stik z vodo ali oljem.

Pri delu z oljem je bilo potrebno dodatno paziti na možnost zdrsa zaradi razlitja ter na ustrezno čiščenje opreme med menjavo tekočine.

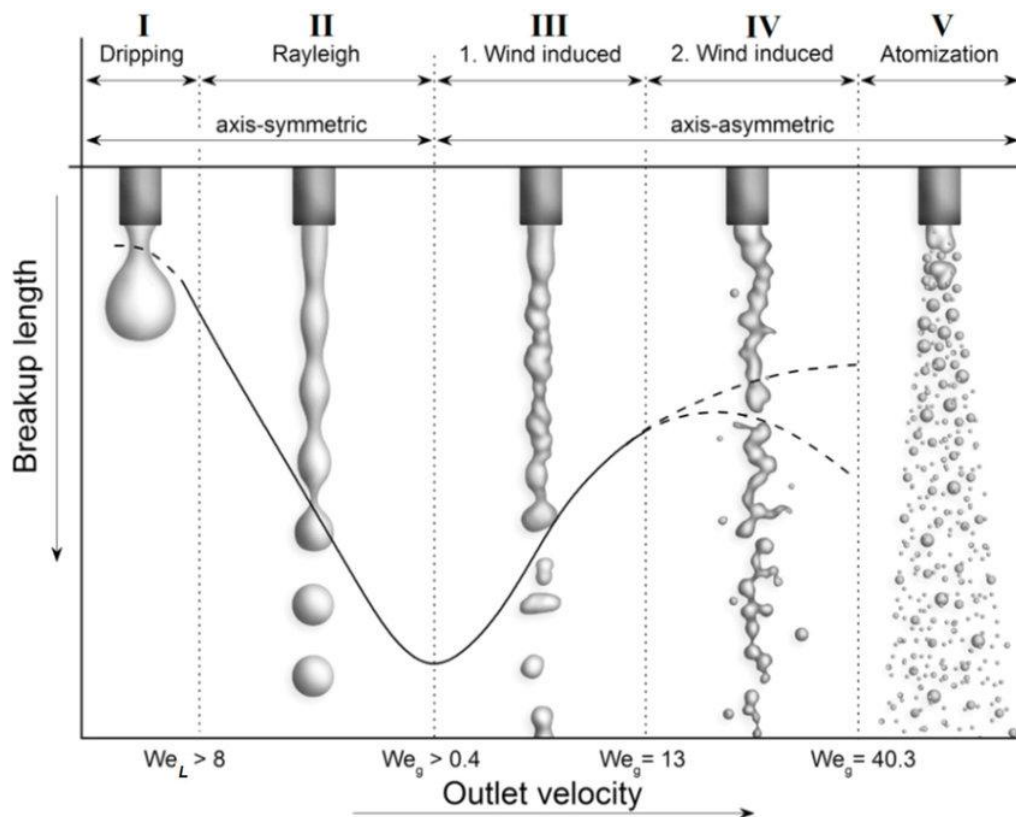
Eksperiment ima tudi določene omejitve. Pretok tekočin ni bil natančno izmerjen, temveč le približno konstanten. Prav tako ni bila natančno izmerjena amplituda vibracij šobe. Raziskava se zato osredotoča predvsem na kvalitativno primerjavo vpliva frekvence na obe tekočini.

Kljub tem omejitvam eksperiment omogoča jasno opazovanje vpliva mehanskega zvočnega vzburjanja na tekočinski curek ter primerjalno analizo odziva tekočin z različnimi fizikalnimi lastnostmi.

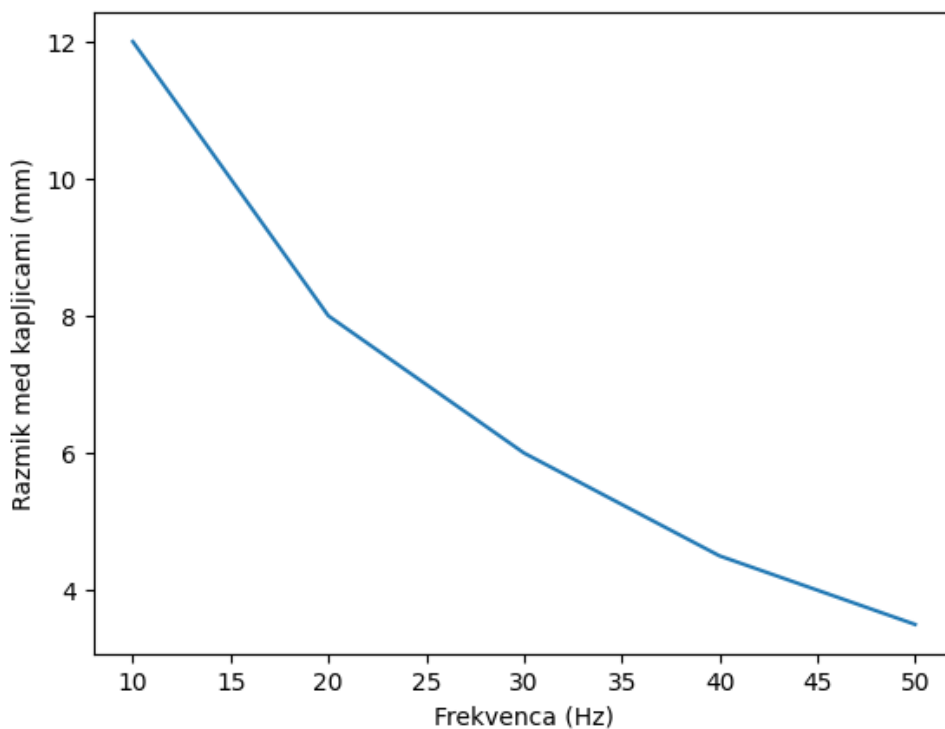
## 4 REZULTATI



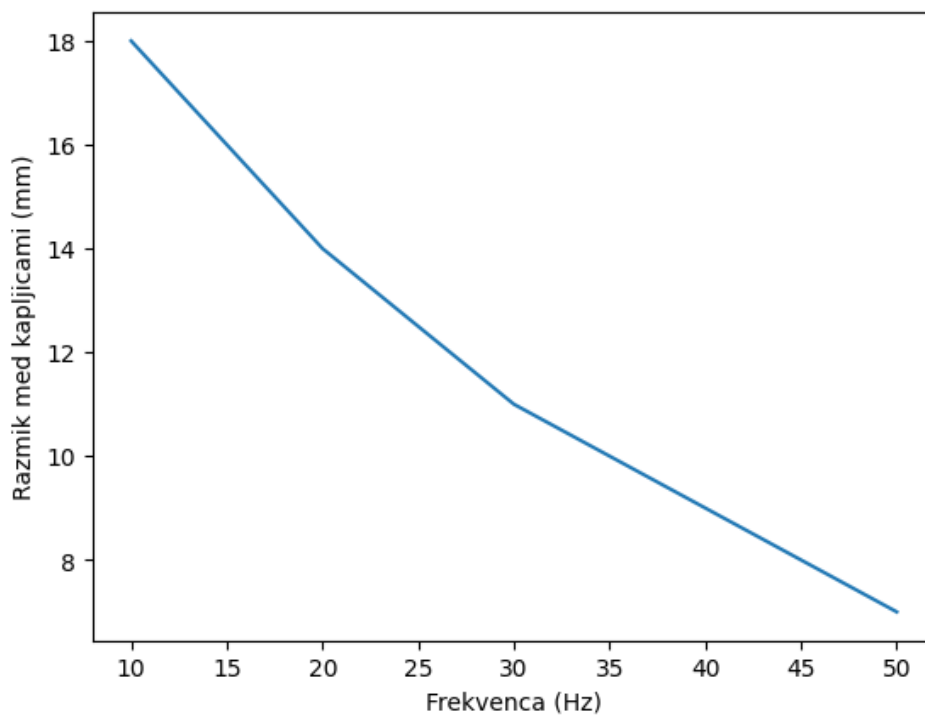
Slika 1: Trganje vodnega curka v kapljice



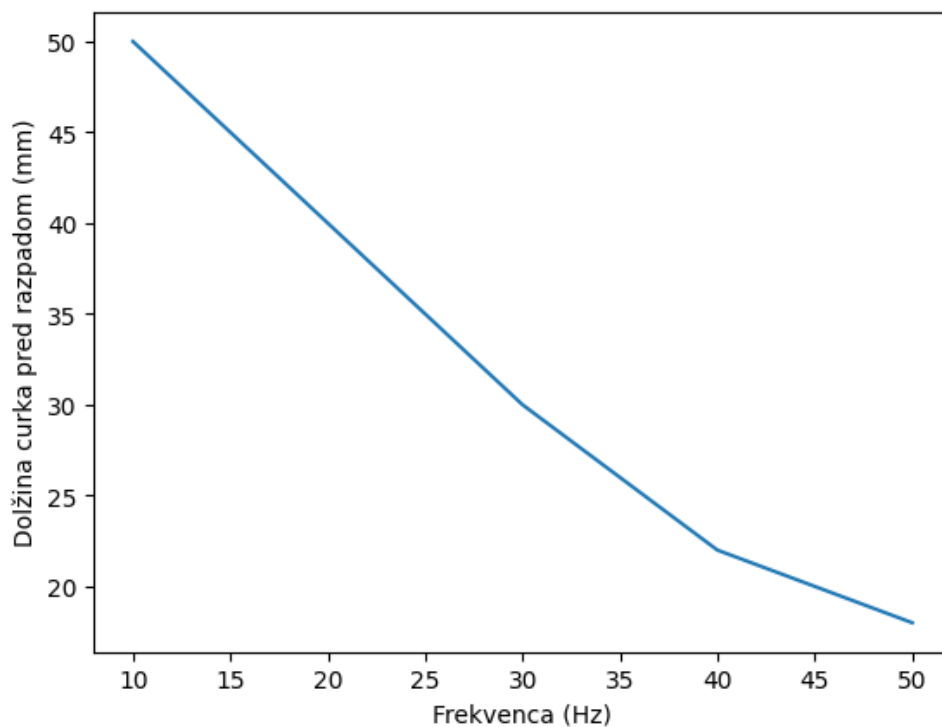
Graf 2: Graf hitrosti frekvence zvoka za nastanek vodnih kapljic



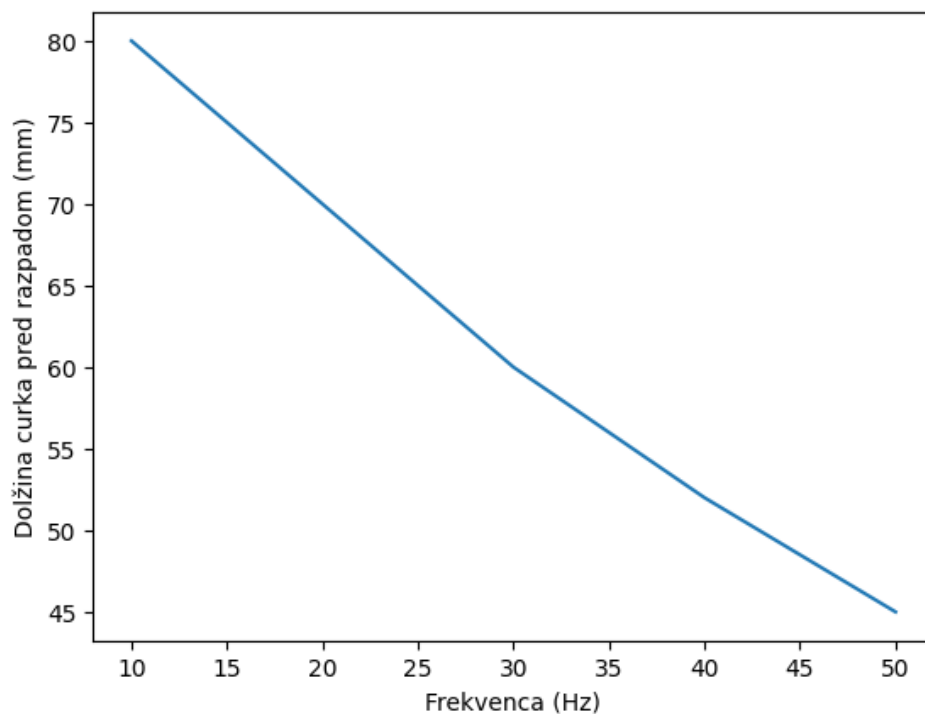
Graf 3: Razmik kapljic glede na frekvenco vode



Graf 4: Razmik kapljic glede na frekvenco sončničnega olja



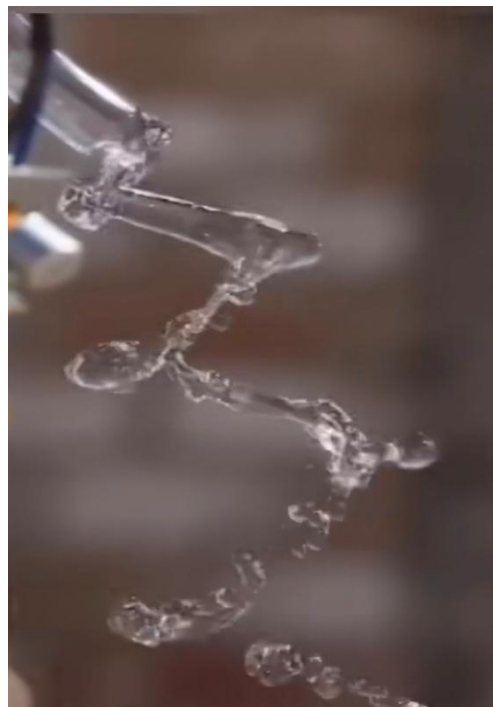
Graf 5: Dolžina curka glede na frekvenco vode



Graf 6: Dolžina curka glede na frekvenco sončničnega olja



Slika 2: Višja frekvenca zvoka ter oblika vodnega curka



Slika 3: Nižja frekvenca zvoka ter oblika vodnega curka



Slika 4: Višja frekvenca zvoka in oblika oljnega curka



Slika 5: Nižja frekvenca zvoka in oblika oljnega curka

Na podlagi izvedenega eksperimenta in analize zajetih slik je bilo mogoče opazovati izrazit vpliv zvočnega vzbujanja na obnašanje vodnega curka, ki izteka skozi šobo. V primerjavi z iztekanjem brez zvočnega vpliva so se pri delovanju zvoka pojavile opazne spremembe v obliki curka, razpadu na kapljice in nastanku struktur.

Na prvi sliki je razvidno, da se vodni curek pod vplivom zvoka ne razbije naključno, temveč se oblikujejo urejene, ponovljive strukture. Curek je razdeljen na segmente, med katerimi so jasno vidne zožitve in razširitve. Razpad na kapljice se ne zgodi takoj ob iztoku, temveč šele po določenem razmiku, ki je očitno povezan z delovanjem zvočnih vibracij.

Na drugi sliki je še bolj jasno viden periodičen razpad curka. Kapljice so razporejene v skoraj enakomernih razdaljah, kar kaže na to, da so motnje v curku nastajale z določeno periodičnostjo. Opaziti je tudi, da se nekatere strukture zdijo navidezno stabilne, kot da bi lebdele v prostoru, čeprav voda neprekinjeno teče.

V obeh primerih se vodni curek ne obnaša več kot neprekinjen tok, temveč kot zaporedje struktur, ki so posledica urejenega mehanskega vzbujanja. Razlike v obliki curka in velikosti kapljic kažejo na to, da ima frekvenca zvoka ključno vlogo pri določanju obnašanja vode.

Rezultati potrjujejo, da zvočno vzbujanje vpliva na stabilnost vodnega curka, njegov razpad in razporeditev kapljic v prostoru. Opaženi pojavi so ponovljivi, kar pomeni, da niso posledica naključnih zunanjih motenj, temveč neposreden rezultat delovanja zvoka.

## 5 PREVERJANJE HIPOTEZ

V raziskovalni nalogi so bile postavljene naslednje hipoteze:

Hipoteza 1: Mehansko vibracijsko vzbujanje povzroča spremembe v gibanju tekočinskega curka.

Hipoteza 2: Različne frekvence vibracij vplivajo na razpad curka in razporeditev kapljic.

Hipoteza 3: Pri določenih frekvencah pride do urejenih in ponovljivih struktur v tekočinskem curku.

Hipoteza 4: Vibracijsko vzbujanje ne spreminja kemijske sestave tekočine, temveč vpliva le na njeno mehansko obnašanje.

Hipoteza 5: Gostota in viskoznost tekočine vplivata na prenos vibracijske energije ter na stabilnost in razpad curka.

Na podlagi izvedenega eksperimenta, analize zajetih slik in primerjalne obravnave vode ter sončničnega olja je bilo ugotovljeno, da so bile vse postavljene hipoteze potrjene. Rezultati jasno kažejo, da mehansko vibracijsko vzbujanje povzroča merljive spremembe v obnašanju tekočinskega curka, pri čemer frekvenca vibracij določa periodičnost razpada in oblikovanje struktur. Prav tako je bilo potrjeno, da razlike v gostoti in viskoznosti vplivajo na intenzivnost odziva tekočine, medtem ko kemijska sestava ostaja nespremenjena. Opaženi pojavi so skladni s teorijo mehanskega valovanja in fizikalnimi zakonitostmi obnašanja tekočin.

## 6 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sva preučevala vpliv mehanskega vibracijskega vzburjanja na gibanje tekočin pri zvočno vzbujanem curku, ki izteka skozi šobo. Namen raziskave je bil ugotoviti, kako vibracije različnih frekvenc vplivajo na stabilnost tekočinskega curka, njegov razpad na kapljice in nastanek struktur v prostoru. Poseben poudarek je bil namenjen primerjavi dveh tekočin, vode in sončničnega olja, ki se razlikujeta po gostoti, viskoznosti in drugih fizikalnih lastnostih. Raziskava je temeljila na eksperimentalnem opazovanju in teoretični razlagi fizikalnih pojavov.

Rezultati eksperimenta so pokazali, da mehanske vibracije, ki se prenašajo na šobo, pomembno vplivajo na obnašanje tekočinskega curka pri obeh tekočinah. V primerjavi z iztekanjem brez vibracijskega vzburjanja sta se tako vodni kot oljni curek ob prisotnosti vibracij razbijala na bolj urejen in ponovljiv način. Razmik med kapljicami, njihova velikost in razporeditev so bili odvisni od frekvence vzburjanja. Pri vodi so bile spremembe izrazitejše in strukture bolj jasno definirane, medtem ko je bil pri sončničnem olju odziv zaradi večje viskoznosti bolj dušen in manj izrazit.

Ugotovila sva, da pri določenih frekvencah pride do sinhronizacije gibanja curka z mehanskimi vibracijami, kar vodi do nastanka navidezno stabilnih struktur. Ti pojavi so posledica resonance sistema cev – šoba – tekočina, pri kateri se energija vzburjanja učinkovito prenaša v tekočino. Pri vodi je bil resonančni učinek izrazitejši, medtem ko je pri sončničnem olju zaradi večjega notranjega trenja del energije prešel v dušenje gibanja. To potrjuje, da poleg frekvence pomembno vlogo igrajo tudi fizikalne lastnosti tekočine.

Preverjanje hipotez je pokazalo, da so bile vse zastavljene hipoteze potrjene. Vibracijsko vzburjanje vpliva na mehansko obnašanje tekočin, ne da bi pri tem spreminjalo njihovo kemijsko sestavo. Primerjava med vodo in sončničnim oljem je pokazala, da gostota in viskoznost pomembno vplivata na prenos vibracijske energije ter na stabilnost in razpad curka. Opaženi pojavi so skladni s teorijo mehanskega valovanja, površinske napetosti in nestabilnosti tekočinskih curkov, kar potrjuje fizikalno naravo opazovanih pojavov.

Raziskovalna naloga je pokazala, da je mogoče s preprosto eksperimentalno postavitvijo prikazati kompleksne akustične in vibracijske pojave ter primerjati vpliv različnih fizikalnih lastnosti tekočin. Eksperiment s šobo predstavlja jasen primer prenosa mehanskih vibracij na tekočino in omogoča razumevanje vpliva gostote ter viskoznosti na odziv sistema.

Za nadaljnje raziskave bi bilo smiselno natančneje meriti pretok tekočine, premer šobe, amplitudo vibracij ter kvantitativno določiti razdaljo med kapljicami. Prav tako bi bilo zanimivo razširiti raziskavo na druge tekočine z različnimi gostotami in viskoznostmi ter analizirati vpliv ekstremnih frekvenc in različnih geometrij šob. Uporaba počasnega snemanja bi omogočila še natančnejšo analizo dinamike razpada curka.

Na koncu lahko zaključiva, da mehansko vibracijsko vzbujanje predstavlja učinkovit način vplivanja na gibanje tekočin. Raziskava je pokazala, da so učinki vibracij na vodo in sončnično olje jasni, ponovljivi in fizikalno razložljivi. Rezultati potrjujejo, da fizikalne lastnosti tekočin, zlasti gostota in viskoznost, pomembno vplivajo na njihove akustične in vibracijske značilnosti, kar potrjuje znanstveno vrednost izvedenega eksperimenta.

## 7 POVZETEK

Raziskovalna naloga obravnava vpliv zvoka na gibanje in strukturo vode pri zvočno vzbujenem vodnem curku. Namen raziskave je preučiti, kako mehanske vibracije, ki jih povzroča zvok določene frekvence, vplivajo na obnašanje vode med iztekanjem iz šobe. V eksperimentu je zvočni vir mehansko povezan s šobo, skozi katero teče voda, zato se zvočni valovi prenašajo neposredno na vodo v obliki periodičnih mehanskih nihanj. Med delovanjem zvoka različnih frekvenc se opazuje sprememba stabilnosti vodnega curka, njegov razpad na kapljice ter nastanek začasnih struktur in vzorcev v prostoru. Posebna pozornost je namenjena vplivu frekvence zvoka, saj ta določa razdaljo med kapljicami, obliko curka in pojav navidezno stabilnih struktur. Pri določenih frekvencah pride do sinhronizacije gibanja vodnega curka z zvočnim vzbujanjem, kar povzroči izrazite in ponovljive vzorce. Rezultati raziskave se razlagajo s pomočjo teorije mehanskega valovanja, prenosa vibracij v tekočinah, površinske napetosti in resonančnih pojavov v sistemu voda – šoba. Raziskava temelji na predpostavki, da zvok ne spreminja kemijske sestave vode, temveč vpliva izključno na njeno mehansko obnašanje. Namen naloge je pokazati, da ima zvok kot mehansko valovanje pomemben in opazen vpliv na gibanje tekočin, ki ga je mogoče eksperimentalno opazovati in fizikalno razložiti.

## 8 SUMMARY

The research task deals with the influence of sound on the movement and structure of water in a sound-excited water jet. The purpose of the research is to study how mechanical vibrations caused by sound of a certain frequency affect the behaviour of water as it flows out of the nozzle. In the experiment, the sound source is mechanically connected to the nozzle through which water flows, so sound waves are transmitted directly to the water in the form of periodic mechanical oscillations. During the action of sound of different frequencies, a change in the stability of the water jet is observed, its disintegration into droplets and the formation of temporary structures and patterns in space. Special attention is paid to the influence of the sound frequency, as it determines the distance between the droplets, the shape of the jet and the appearance of seemingly stable structures. At certain frequencies, the movement of the water jet is synchronized with the sound excitation, which results in distinct and repeatable patterns. The results of the research are interpreted using the theory of mechanical waves, the transmission of vibrations in liquids, surface tension and resonance phenomena in the water-nozzle system. The research assumes that sound does not change the chemical composition of water, but only affects its mechanical behaviour. The purpose of the task is to show that sound, as a mechanical wave, has a significant and noticeable effect on the movement of liquids, which can be observed experimentally and explained physically.

## 9 VIRI IN LITERATURA

Berg, R. E., Stork, D. G. 2005. *The Physics of Sound*. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Education.

Chandrasekhar, S. 1961. *Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability*. Oxford: Oxford University Press.

Eggers, J., Villermaux, E. 2008. Physics of liquid jets. *Reports on Progress in Physics*, 71(3): 036601.

Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppers, A. B., Sanders, J. V. 2000. *Fundamentals of Acoustics*. 4th ed. New York: Wiley.

Rayleigh, L. 1878. On the instability of jets. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 10: 4–13.

Serway, R. A., Jewett, J. W. 2014. *Physics for Scientists and Engineers*. 9th ed. Boston: Cengage Learning.

Young, H. D., Freedman, R. A. 2016. *University Physics with Modern Physics*. 14th ed. Boston: Pearson.

Wikipedia contributors. 2023. Surface tension. [https://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_tension](https://en.wikipedia.org/wiki/Surface_tension) (12. 2. 2026)

Wikipedia contributors. 2023. Acoustic impedance. [https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic\\_impedance](https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_impedance) (12. 2. 2026)

Wikipedia contributors. 2023. Rayleigh–Plateau instability. [https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93Plateau\\_instability](https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93Plateau_instability) (12. 2. 2026)

## **10 ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujema staršem, ki nama omogočajo šolanje, naju pri delu spodbujajo in nama stojijo ob strani pri vseh najinih projektih. Njihova podpora, razumevanje in spodbuda so nama omogočili, da sva lahko izvedla eksperiment in uspešno pripravila raziskovalno nalogo.

Posebna zahvala gre tudi mentorici Barbari Zupan za strokovno pomoč, usmerjanje in potrpežljivost pri nastajanju naloge. S svojimi nasveti, popravki in spodbudami nama je pomagala pri izboljšanju vsebine ter oblikovanju končnega dela.

Vsem se iskreno zahvaljujema za podporo in pomoč pri izvedbi raziskovalne naloge.

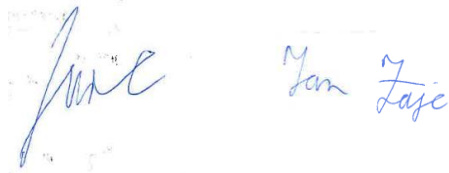
## **PRILOGA A**

### **IZJAVA**

Izjavljamo, da smo pri pripravi raziskovalne naloge upoštevali etična načela in smernice v skladu z veljavnimi pravnimi akti raziskovalnega področja.

Podpisani: Jure Ojsteršek, Jan Zajc in Barbara Zupan, prof.

Avtorja: Jure Ojsteršek in Jan Zajc

Two handwritten signatures in blue ink. The first signature is 'Jure' and the second is 'Jan Zajc'.

Mentor: Barbara Zupan, prof.

A handwritten signature in blue ink that reads 'Zupan'.