

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA

Vizualizacija zvoka in frekvenc s pomočjo vibracijskih vzorcev

Tematsko področje:
mehatronika

Avtor:
Aljaž Švent, 4. letnik

Mentor:
Klemen Zaponšek, mag. inž. meh.

Velenje, 2026

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šolskem centru Velenje, Elektro in računalniški šoli.

Mentor: Klemen Zaponšek, mag. inž. meh.

Datum predstavitve: marec 2026

KJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD** Šolski center Velenje, 2025/2026
- KG** zvok / frekvenca / vibracije / resonanca / cymatics / Chladnijeve figure / vizualizacija zvoka / akustika
- AV** Švent, Aljaž
- SA** Zaponšek, Klemen
- KZ** Trg mladosti 3, 3320 Velenje, SLO
- ZA** Šolski center Velenje
- LI** 2026
- IN** VIZUALIZACIJA ZVOKA IN FREKVENC S POMOČJO VIBRACIJSKIH VZORCEV
- TD** Raziskovalna naloga
- OP** VI, Str. 14, sl. 16 vir. 8
- IJ** sl
- JI** /
- AI** Raziskovalna naloga obravnava vizualizacijo zvoka s pomočjo vibracijskih vzorcev na različnih podlagah. Namen raziskave je bil ugotoviti, kako se sipki materiali (sol, sladkor, drobtine) odzivajo na različne zvočne frekvence, ustvarjene z bas kitaro in ojačevalcem. Preučeval sem vpliv frekvence, amplitude in vrste podlage na gibanje delcev ter nastanek vzorcev. Ugotovil sem, da višje frekvence povzročajo bolj razpršeno gibanje delcev, medtem ko nižje frekvence ustvarjajo gostejše oblike. Rezultati kažejo, da material podlage pomembno vpliva na prenos vibracij in vidnost vzorcev. Eksperiment potrjuje, da je zvok mogoče ne le slišati, temveč tudi vizualno prikazati.

KEYWORD DOCUMENTATION

ND School Center Velenje, 2025/2026

CX sound / frequency / vibrations / resonance / cymatics / Chladni figures /
sound visualization / acoustics

AU Švent, Aljaž

AA Zaponšek, Klemen

PP Trg mladosti 3, 3320 Velenje, SLO

PB School Center Velenje

PY 2026

TI VISUALIZATION OF SOUND AND FREQUENCIES USING
VIBRATION PATTERNS

DT Research paper

NO vi, p. 14, fig. 16, ref. 8

LA sl

AL /

AB This research paper deals with the visualization of sound using vibration patterns on different surfaces. The aim of the study was to determine how granular materials (salt, sugar, breadcrumbs) respond to different sound frequencies produced by a bass guitar and an amplifier. The influence of frequency, amplitude, and surface type on particle movement and pattern formation was examined. The results show that higher frequencies cause more dispersed particle movement, while lower frequencies create denser formations. The findings indicate that the material of the surface significantly affects vibration transmission and the visibility of patterns. The experiment confirms that sound can not only be heard but also visually represented.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
2. TEORETIČNO OZADJE	1
2.1 Kaj je zvok?	1
2.2 Frekvenca – ki pove višino tona	1
2.3 Amplituda – ki pove kakšna je glasnost	2
2.4 Pojmi	2–3
2.5 Vibracije in resonance	3
2.6 Chladnijeve figure in Cymatics	3
3. KAKO IZ NIHANJA STRUNE NASTANE VZOREC.....	3
3.11 Magnetno polje in struna	3
3.12 Nihanje strune	3
3.13 Indukcija električnega signala	4
3.14 Pot do ojačevalca	4
3.15 Ojačanje in zvočnik	4
3.16 Od elektrike nazaj h gibanju	4–5
3.21 Vir nihanja (Vir zvoka)	5
3.22 Ustvarjanje stoječih valov	5
3.23 Vozli in antivozli (Mir in gibanje)	6
3.24azporeditev delcev	6
4. CILJ RAZISKAVE	7
5. EKSPERIMENTALNI DEL	7
5.1 Uporabljena oprema	7–9
5.2 Postopek	10
5.3 Opazovanja	10
5.4 Slike posameznega podstavka/posode in komentar	10–13
6. ZAKLJUČEK	13–14
7. VIRI	14

KAZALO SLIK

Slika 1: Širjenje zvoka med delci	1
Slika 2: Graf, ki prikazuje potek amplitude.....	2
Slika 3: Delovanje ojačevalca.....	5
Slika 4: Graf vozli in antivozli	6
Slika 5: Prikaz Chladnijevih figur na Chladnijevi plošči	6
Slika 6: 4-strunska bas kitara.....	7
Slika 7 : Ojačevalac Fender	8
Slika 8: Podstavki / posode za delce.....	8
Slika 9: Sol, sladkor, drobtine	9
Slika 10: Mobilni telefon za snemanje vzorcev.....	9
Slika 11: Poskus na aluminijasti foliji	10
Slika 12: Poskus na papirju za peko	11
Slika 13: Poskus na klasičnem papirju za tiskanje	11
Slika 14: Poskus na škatli iz stiropora	12
Slika 15: Poskus na ponvi iz nerjavečega jekla.....	12
Slika 16: Poskus na kartonasti škatli	13

1. UVOD

Zvok je del našega vsakdana – spremlja nas v glasbi, okolju in komunikaciji. Čeprav ga zaznavamo z ušesi, ga je hkrati mogoče vizualno predstaviti, saj zvok dejansko ni nič drugega kot vibracija zraka z določeno frekvenco. Fenomen, da zvok lahko ustvarja vidne vzorce, je znan že iz 18. stoletja, ko je nemški fizik Ernst Chladni s pomočjo kovinske plošče in peska prvič pokazal, kako se delci razporedijo v geometrijske oblike, odvisno od frekvence vibracij.

V tej raziskavi sem želel raziskati, kako se različni materiali (sol, sladkor, drobtine) obnašajo, ko jih izpostavimo vibracijam z različnimi frekvencami. Namesto laboratorijskega generatorja sem uporabil ojačevalnik in bas kitaro, s katero sem ustvarjal različne tone. Namen raziskave je bil vidno prikazati frekvenco zvoka in ugotoviti:

- ali različni materiali ustvarjajo različne vzorce,
- pri katerih frekvencah se vzorci najbolj jasno oblikujejo,
- kako se oblika in gibanje delcev spreminjata glede na glasnost in ton.

2. TEORETIČNO OZADJE

2.1 Kaj je zvok?

Zvok je mehansko valovanje v zraku ali trdnih/tekočih snoveh, ki ga ustvarjajo nihanja teles. Frekvenca zvoka določa, kako hitro telo.



Slika 1: Širjenje zvoka med delci

(Vir: <https://omt.splet.arnes.si/zvok-uvod/>)

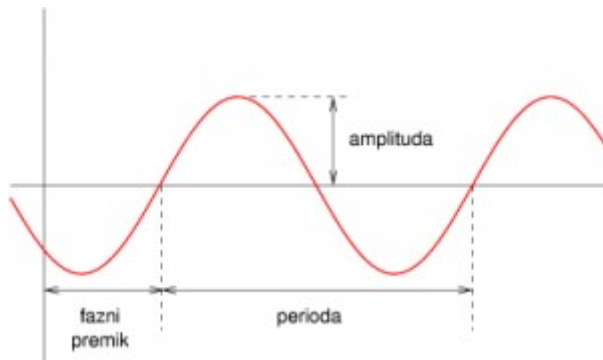
Pri zvoku se srečujemo z naslednjimi pojmi

2.2 Frekvenca – ki pove višino tona

- Fizikalna količina določena kot število ponavljajočih se dogodkov
- Osnovna enota Hertz (Hz) = en cikel na sekundo

2.3 Amplituda – ki pove kakšna je glasnost

- Amplituda je pri nihanju največji odklik nihajoče količine od ravnovesne lege.
- Enota amplitude je enaka enoti nihajoče količine.



Slika 2: Graf, ki prikazuje potek amplitude

(Vir: <https://omt.splet.arnes.si/zvok-uvod/>)

Amplituda zvočnega vala je določena glede na njegov **pritisk**

Približno 20 μPa (mikropaskalov) ali raven zvočnega pritiska 0 dB ajtišji zvok, ki ga človeško uho še zazna, ima amplitudo (decibelov).

Daljša izpostavljenost zvočnemu pritisku, ki **presega 85 dB**, lahko **trajno poškoduje uho**

Raven zvoka, ki **presega 130 dB**, je višja, kot lahko človeško uho varno vzdrži, in lahko povzroči **resne bolečine in trajne poškodbe sluha**

2.4 Pojmi:

Slišno območje – pri katerih frekvencah ljudje zaznajo zvok

Hitrost – kako hitro se zvok giblje skozi dano snov

Akustika – fizično gledano, kako se zvok obnaša v nekem prostoru

Psihoakustika – kako zvok vpliva na ljudi ter kako ljudje dojemajo zvok

Zvok niha — meri se v hercih (Hz).

- Nizke frekvence (20–250 Hz) tvorijo globoke tone, ki jih zaznavamo kot bas.
- Srednje frekvence (250–2000 Hz) slišimo kot govorni glas.
- Visoke frekvence (2000–20.000 Hz) pa so tisti visoki toni, ki jih slišimo v glasbi in naravi.

2.5 Vibracije in resonance

Vsako telo ima svojo lastno resonančno frekvenco, pri kateri začne najmočneje vibrirati. Ko material zadane ta ton, se energija vibracij močno poveča, kar povzroči gibanje delcev na površini. Te točke, kjer ni gibanja (stabilne točke), imenujemo vozli (nodalne točke), delci pa se zaradi tresenja zbirajo prav tam — tako nastanejo značilni vzorci na površini.

2.6 Chladnijeve figure in Cymatics

Fenomen preučevanja vibracijskih vzorcev se danes imenuje cymatics. Plošče, na katere se nanese prah ali pesek, vibrirajo z različnimi frekvencami, kar povzroči različne geometrijske oblike: kroge, simetrične črte in zvezdaste strukture. Te vzorce danes preučujejo tudi umetniki in znanstveniki, saj kažejo, kako urejeno in matematično se zvok obnaša v prostoru.

3. KAKO IZ NIHANJA STRUNE NASTANE VZOREC?

Postopek, s katerim nihanje strune na bas kitari postane zvok iz zvočnika, je preplet fizike in elektrotehnike. Vse skupaj temelji na principu **elektromagnetne indukcije**.

Delovanje:

3.11 Magnetno polje in struna

Magneti v tvojih magnetih (t.i. *pickupih*) ustvarijo magnetno polje, ki obdaja kovinske strune. Ker so strune na bas kitari narejene iz materialov, ki se magnetizirajo (jeklo, nikelj), postanejo del tega magnetnega kroga.

3.12 Nihanje strune

Ko struno ubereš, začne ta nihati. To nihanje fizično moti magnetno polje nad magnetom. Ker se struna premika gor in dol, se magnetni pretok skozi navitje magneta nenehno spreminja.

3.13 Indukcija električnega signala

Okoli magneta v kitari je navita zelo tanka bakrena žica (tisočkrat ovita). Po Faradayevem zakonu o indukciji spreminjanje magnetnega polja v navitju povzroči nastanek majhne električne napetosti.

- To je izmenični tok, ki ima popolnoma enako frekvenco kot nihanje strune.
- Če struna nihne 440-krat na sekundo (440 Hz), bo tudi električni signal nihal s to frekvenco.

3.14 Pot do ojačevalca

Ta šibek električni signal potuje skozi potenciometre (glasnost in ton) na tvoji kitari, nato pa po kablu do ojačevalca. Na tej točki je signal še vedno prešibek, da bi lahko premikal zvočnike.

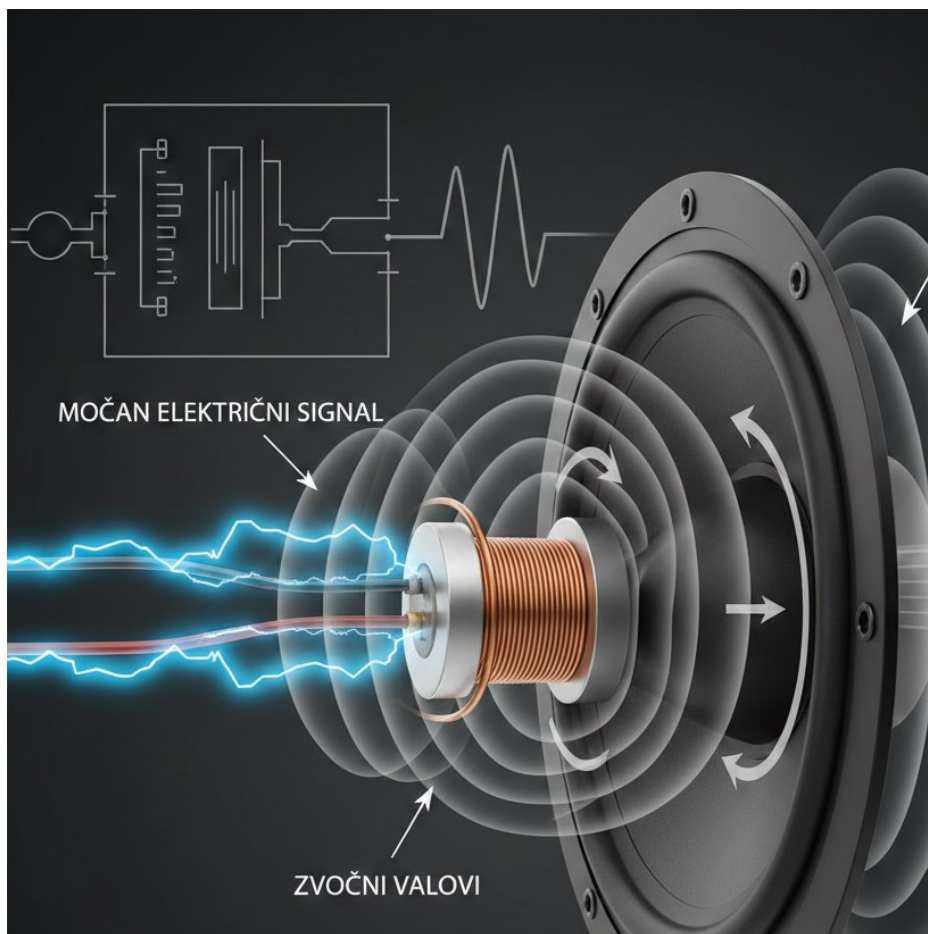
3.15 Ojačanje in zvočnik

V ojačevalcu se zgodita dve ključni stvari:

- Predojačevalec (Preamp): Pripravi in oblikuje barvo tvojega zvoka.
- Končna stopnja (Power Amp): Ta močno poveča moč signala, da lahko premakne membrano zvočnika.

3.16 Od elektrike nazaj h gibanju

Močan električni signal pride do zvočnika, kjer gre skozi tuljavo, pritrjeno na membrano. Zaradi elektromagnetnih sil se membrana začne premikati naprej in nazaj v istem ritmu, kot je nihala struna. To premikanje membrane stiska zrak in ustvarja zvočne valove, ki jih slišimo.



Slika 3: Delovanje ojačevalca

(Vir: Gemini)

Zanimivost: Ker sistem deluje na magnetne, ne moreš uporabljati najlonskih strun (kot pri klasični kitari). Brez kovinskega jedra struna ne bi motila magnetnega polja in ojačevalec bi ostal tiho.

3.21 Vir nihanja (Vir zvoka)

Tako dobimo ojačevalec kot vir zvoka, ki s svojim delovanjem ustvarja vibracije. Naj gre za zvočnik pod kovinsko ploščo ali drgnjenje loka ob rob stekla, vir ustvari mehansko valovanje. To valovanje se prenaša na material (ploščo, membrano ali tekočino).

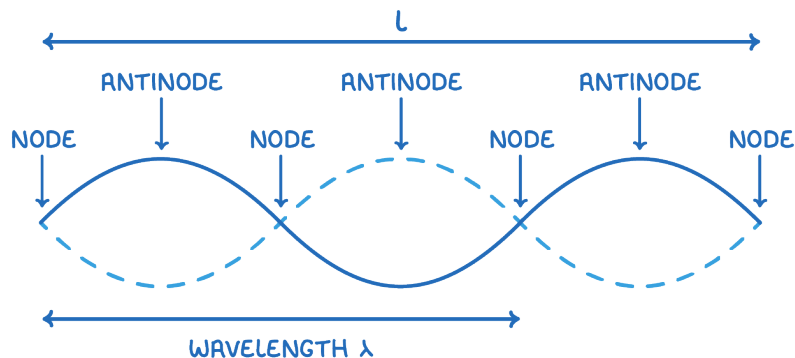
3.22 Ustvarjanje stoječih valov

Ko se zvočni valovi širijo po materialu, dosežejo robove in se odbijejo nazaj. Ti odbiti valovi se srečajo z novimi prihajajočimi valovi. Pri določenih frekvencah (t.i. **resonančnih frekvencah**) pride do pojava, ki mu pravimo **stoječe valovanje**.

3.23 Vozli in antivozli (Mir in gibanje)

V stojećem valovanju se v materialu ustvarijo različna območja:

- **Vozli (Nodes):** To so točke ali črte, kjer se material sploh ne premika. Valovi se na teh mestih medsebojno izničijo.
- **Antivozli (Antinodes):** To so območja z največjim nihanjem (kjer material najbolj vibrira).



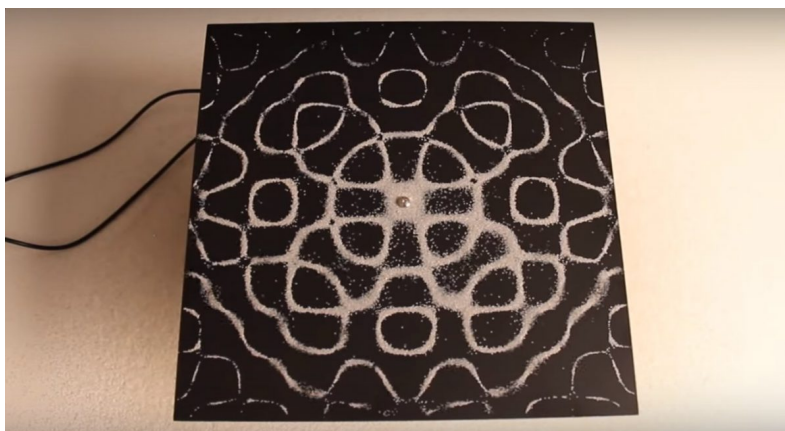
Slika 4: Graf vozli in antivozli

(Vir: https://cognitoedu.org/coursesubtopic/p3-alevel-ocr_NTyLdOpQ)**3.24**

3.24 Razporeditev delcev

Če na ploščo posujemo droben pesek, sol ali moko, se zgodi naslednje:

1. **Izpodrivanje:** Vibracije na antivozlih "zrcalijo" pesek stran.
2. **Zbiranje:** Ker se pesek nima kam umakniti, se sčasoma ustali tam, kjer je mir – torej na **vozlih**.
3. **Nastanek vzorca:** Pesek tako izriše "zemljevid" tišine na plošči. Te črte imenujemo **Chladnijeve figure**.



Slika 5: Prikaz Chladnjevih figur na Chladniji plošči

(Vir: <http://thoriumaplus.com/eksperiment-s-rezonancijom-video/>)

4. CILJ RAZISKAVE

Cilj moje raziskave je bil:

- raziskati, kako se različni sipki materiali obnašajo pri vibracijah različnih zvočnih frekvenc,
- ugotoviti, pri katerih frekvencah se pojavijo najbolj jasni vzorci,
- preveriti, ali različni materiali pokažejo razlike v odzivu na iste frekvence,
- vizualno prikazati zvok s pomočjo vibracij plošče, povezane z ojačevalcem in bas kitaro.

Hipoteza:

»Pri višjih frekvencah se na površini material bolj zgosti in nastanejo bolj gosti vzorci, medtem ko pri nizkih frekvencah delci tvorijo enostavnejše oblike ali se zgolj premikajo.«

5. EKSPERIMENTALNI DEL

5.1 Uporabljena oprema

- Bas kitara (4-strunska, standardno uglasena E–A–D–G)



Slika 6: 4-strunska bas kitara

(Vir: Samsung S22)

- Ojačevalac za bas (150W)



Slika 7: Ojačevalac Fender

(Vir: Samsung S22)

- Podstavki / posode za delce iz: kartona, aluminijaste folije, papir za peko, stiropora, papirja in nerjavečega jekla (ponev)



Slika 8: Podstavki / posode za delce

(Vir: Samsung S22)

- Sol, sladkor, drobtine (kot delci za vizualizacijo)



Slika 9: Sol, sladkor, drobtine

(Vir: Samsung S22)

- Mobilni telefon za snemanje vzorcev (Samsung S22)



Slika 10: Mobilni telefon za snemanje vzorcev

(Vir: <https://telemach.si/naprave/galaxy-s22-5g-256gb-bela/612307>)

5.2 Postopek

1. Posodo oz. podstavek sem položil na membrano zvočnika ojačevalca.
2. Na površino plošče sem enakomerno posipal sol, sladkor ali drobtine.
3. Z bas kitaro sem ustvarjal različne tone (od E2 \approx 82 Hz do G4 \approx 392 Hz).
4. Z aplikacijo sem sproti meril približno frekvenco tona.
5. Opazoval sem premikanje delcev na podstavku.
6. Postopek sem večkrat ponovil z različnimi materiali.

5.3 Opazovanja

- **Sol:** Kristali soli se hitro odzovejo na vibracije in se gibljejo proti strani podlage kjer je zvočno valovanje najmanjše.
- **Sladkor:** Giblje se podobno kot sol, vendar so kristali pogosto večji. Zaradi tega se lahko premika malce počasneje.
- **Drobtine:** Gibljejo se najmanj razpršeno, tudi amplituda je nižja, saj so najbolj grobe strukture.

5.4 Slike posameznega podstavka/posode in komentar



Slika 11: Poskus na aluminijasti foliji

(Vir: Samsung S22)

Komentar: Na aluminijasti foliji se je videlo zelo podobno kot na papirju za peko, saj je zelo tanek material in so materiali hitro dobili moč in se z veliko amplitudo gibali po površini. Ko je moč pojemala pa je šel material v nastale razpoke ali za rob materiala. Med soljo, sladkorjem in drobtinami so bila manjša odstopanja. Sol in sladkor sta se gibala z malo višjo amplitudo kot drobtine.



Slika 12: Poskus na papirju za peko

(Vir: Samsung S22)

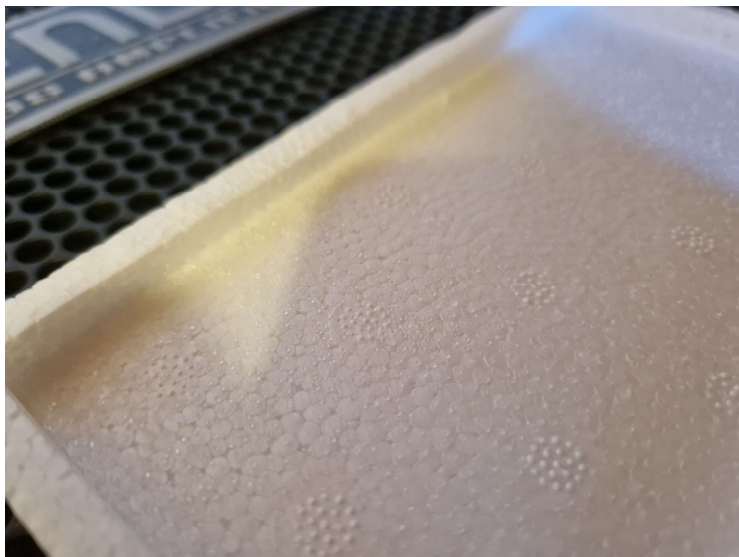
Komentar: Na papirju za peko so se zelo dobro videle razlike med višjimi in nižjimi frekvencami. Videli pa so se tudi najbližji približki nekih vzorcev, saj se je ta material minimalno premikal. Med soljo, sladkorjem in drobtinami so bila manjša odstopanja, tako kot že pri predhodnih poskusih.



Slika 13: Poskus na klasičnem papirju za tiskanje

(Vir: Samsung S22)

Komentar: Na klasičnem papirju za tiskanje so se najbolj čutile sile zvočnega valovanja, saj je papir zelo dvigovalo ob močni glasnosti. Nastali pa so že tudi določeni vzorci kot je prikazano na zgornji sliki. Med soljo, sladkorjem in drobtinami so bila manjša odstopanja, tako kot že pri predhodnih poskusih.



Slika 14: Poskus na škatli iz stiropora

(Vir: Samsung S22)

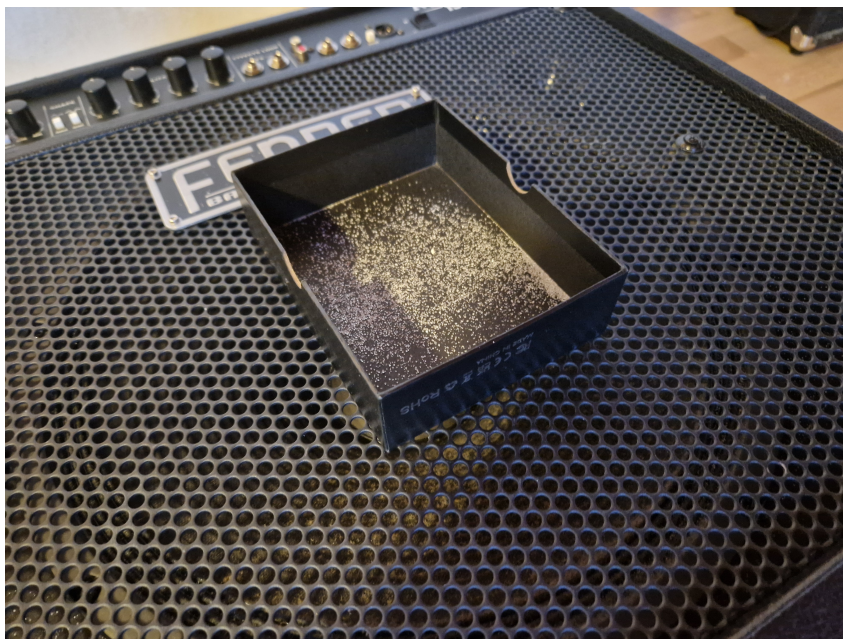
Komentar: Na škatli iz stiropora so se prav tako čutili močni vplivi sil iz ojačevalca, vendar pa je stiropor bolj kompakten material in so se te sile čisto drugače razporedile po samem materialu. Med soljo, sladkorjem in drobtinami so bila manjša odstopanja, tako kot že pri predhodnih poskusih. Zaznal pa sem, da so pri tem materialu bile ene najvišjih amplitud delcev od vseh podstavkov.



Slika 15: Poskus na ponvi iz nerjavečega jekla

(Vir: Samsung S22)

Komentar: Kot edina, na kateri se ni videlo nič gibanja delcev je bila ponev iz nerjavečega jekla. Menim, da je to posledica tega materiala in vseh premazov, ki so na ponvi, ter dušijo zvočne vibracije. Je pa tudi teža same ponve bila najvišja, tako se tudi sama ponev ni nič premikala nad ojačevalcem. Med soljo, sladkorjem in drobtinami ni bilo nobenih opazanj, saj ni prišlo do gibanja delcev.



Slika 16: Poskus na kartonasti škatli

(Vir: Samsung S22)

Komentar: Na kartonasti škatli je bilo mogoče opaziti neke približke vzorcev kot je vidno na zgornji sliki, ter lepo je bila vidna razlika med višjimi in nižjimi frekvencami. Med soljo, sladkorjem in drobtinami so bila manjša odstopanja, tako kot že pri predhodnih poskusih.

6. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sem ugotovil, da nekatere podlage bolje prevajajo zvok kot druge, ter da se premikanje materialov razlikuje tudi od same strukture. Če pa bi dejansko hotel videti vzorce pa bi po mojem mnenju potreboval eksperimentalno Chladnijevo ploščo oz. zelo ravno površino, ki pa bi morala biti zelo dobro pritrjena v vir zvočnega valovanja, zato da ne bi samo tresenje posode vplivalo na gibanje delcev, ter zelo enakomeren vir zvoka.

Ugotovil sem, da:

- Pri višjih frekvencah se delci gibljejo bolj visoko in bolj razpršeno, med tem ko nižje bolj nizko in gosto,
- različni materiali drugače prevajajo zvočno valovanje, kar tudi pripomore k vidnosti delcev,
- za premik delcev potrebuješ dovolj glasen vir zvoka, da spodbudiš delce v gibanje.

Eksperiment kaže, da se fizika zvoka lahko ne samo posluša, temveč tudi vidi. Takšni eksperimenti so odlični za izobraževanje, saj povezujejo glasbo in mehatroniko, ter omogočajo neposredno razumevanje valovanja, resonance in zvoka.

7. VIRI

- Umetna inteligenca (Gemini, Chat GPT, Use Ai)

- <https://omt.splet.arnes.si/zvok-uvod/>

Slike:

-Telefon Samsung S22

-Gemini

- <https://telemach.si/naprave/galaxy-s22-5g-256gb-bela/612307>

- <https://omt.splet.arnes.si/zvok-uvod/>

- https://cognitoedu.org/coursesubtopic/p3-alevel-ocr_NTyLdOpQ

- <http://thoriumaplus.com/eksperiment-s-rezonancijom-video/>