



Osnovna šola Antona Ingoliča Spodnja Polskava  
Spodnja Polskava 240, 2331 Pragersko



# TUBOFON

Področje: Tehnika ali tehnologija

Raziskovalna naloga

**Avtorji:** Erik Červek Roškarič, 9. b

Miha Golob, 9. b

Matic Juršnik, 9. b

**Mentorja:** Rebeka Bračič, prof. glasbe

David Vodusek, prof. proizvodno tehnične vzgoje in fizike

Spodnja Polskava, 2019

## **ZAHVALA**

Zahvaljujemo se obema mentorjema, Rebeki Bračič in Davidu Vodušku. Namenila sta nam veliko časa in s tem poglobila naše znanje ter nas navdušila za raziskovanje. Zahvala gre hišniku Miru Brdniku, ki nam je pomagal pri izdelavi tubofona in improvizaciji, ko sami nismo našli rešitev. Zahvaljujemo se tudi Mateji Pučko Erhatic za lektoriranje in Vidi Bombek za angleški prevod povzetka.

## KAZALO

1 UVOD	6
2 TEORETIČNI DEL	7
2.1 Opredelitev	7
2.2 Zgodovina in zgradba podobnih glasbil	8
2.3 Fizikalno ozadje in uglasitev glasbila	10
3 EMPIRIČNI DEL	12
3.1 Raziskovalna vprašanja	12
3.2 Metode raziskovalnega dela	12
3.3 Tehnična in tehnološka dokumentacija	13
3.4 Izdelava glasbila tubofon	23
3.4.1 Nakup in dobava sestavnih delov	23
3.4.2 Priprava cevi za tubofon	23
3.4.3 Izdelava ohišja tubofona	24
3.4.4 Montaža sestavnih delov	26
3.4.5 Izdelava udarjalk	30
4 REZULTATI IN OCENITEV RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ	31
5 ZAKLJUČEK	33
6 VIRI IN LITERATURA	34

## KAZALO SLIK

SLIKA 1: LESENE PIŠČALI.	7
SLIKA 2: ORGLE.	7
SLIKA 3: USTVARJALEC SNUBBY J..	8
SLIKA 4: PRIMER CEVNEGA GLASBILA IZ TRDIH CEVI.	9
SLIKA 5: RAZPON TUBOFONA V PRIMERJAVI S KLAVIATURO KLAVIRJA.	10
SLIKA 6: ZGORNJA PLOŠČA OHIŠJA GLASBILA.	14
SLIKA 7: SESTAVNI DELI OHIŠJA GLASBILA.	15
SLIKA 8: 3D POGLED GLASBILA IZ DVEH ZORNIH KOTOV.	15
SLIKA 9: SKICA PROSTOROČNEGA RISANJA ZGORNJE STRANICE GLASBILA.	22
SLIKA 10: PRIPRAVA CEVI PRED VGRADNJO V ZGORNJO PLOŠČO GLASBILA.	24
SLIKA 11: SESTAVLJANJE OHIŠJA GLASBILA.	24
SLIKA 12: BRUŠENJE OHIŠJA Z EL. ROČNIM TRAČNIM BRUSILNIM STROJEM.	25
SLIKA 13: VRTANJE LUKENJ S KRONSKIM SVEDROM.	25
SLIKA 14: PREČNI PREREZ IN MONTAŽA CEVI V NOTRANJOSTI GLASBILA.	26
SLIKA 15: MERJENJE FREKVENC PRED KONČNIM KRAJŠANJEM CEVI.	26
SLIKA 16: VPENJANJE REBRASTIH CEVI.	27
SLIKA 17: PRITRJEVANJE ZADNJE STRANICE GLASBILA.	28
SLIKA 18: PRITRJEVANJE KOLES TUBOFONA.	28
SLIKA 19: KONČANI IZDELEK – PREDNJI DEL GLASBILA TUBOFON.	29
SLIKA 20: KONČANI IZDELEK – ZADNJI DEL GLASBILA TUBOFON.	29
SLIKA 21: IMPROVIZIRANE UDARJALKE.	30

## KAZALO TABEL

TABELA 1: PRIMERI APLIKACIJ ZA MERJENJE FREKVENC TONOV	11
TABELA 2: TEHNOLOŠKI LIST ZA OSNOVO OHIŠJA TUBOFONA	16
TABELA 3: TEHNOLOŠKI LIST ZA PRIPRAVO IN VGRADNJO CEVI	17
TABELA 4: TEHNOLOŠKI LIST ZA UDARJALKE	18
TABELA 5: KOSOVNICA ZA OSNOVO	19
TABELA 6: KOSOVNICA ZA UDARJALKE	19
TABELA 7: KOSOVNICA - CEVI	20
TABELA 8: CENE GRADIV POLIZDELKOV IN SESTAVNIH DELOV	23

## POVZETEK

V raziskovalni nalogi predstavimo izdelavo aerofona, poimenovanega tubofon, skozi celotni proces ustvarjanja, od ideje do izdelka. Za raziskovalno nalogo smo se odločili na podlagi ogleda posnetkov uličnih igralcev, ki za svoje ustvarjanje uporabljajo izdelek, narejen iz improviziranih trdih vodovodnih cevi. Razmišljali smo, če bi lahko v šolski delavnici samostojno naredili glasbilo iz gibljivih gradbenih cevi iz umetne snovi. Ta bi moral biti dovolj kvaliteten za igranje, obenem pa stabilen za prenašanje.

Dokazali smo, da je glasbilo mogoče samostojno izdelati. Domača izdelava tubofona je smiselna, saj se omenjenega izdelka ne da kupiti. Glasbilo tubofon je večjih dimenzij, saj morajo biti cevi pravilno nameščene brez pretiranega upogibanja, s čimer bi se spremenila višina tona. Dokazali smo, da predvideni fizikalni parametri, ki smo jih pred izdelavo glasbila predvidevali, veljajo. Ker smo uporabili cevi iz materiala, katerega lastnosti ni bilo mogoče predvideti, je bila izbira materiala tvegana. Izdelano glasbilo je tako potrdilo, da dolžine cevi, debelina cevi in nadzorovano prepogibanje materiala dajejo glasbilu ustrezen zvok. Slike, ki jih nismo vključili v pisni izdelek so na povezavi: [url.sio.si/tubofon123](http://url.sio.si/tubofon123).

Nadaljnje raziskovanje je smiselno z vidika izboljšav obstoječega glasbila. Uporabili bi lahko prozorni material. Zaradi možnosti vpogleda v notranjost glasbenega inštrumenta bi se atraktivnost glasbila povečala. Glasbilo bi lahko imelo tudi trak z LED diodami, s čimer bi se osvetlila notranjost ohišja in cevi. Vse te izboljšave bi podražile izdelavo prototipa.

Ključne besede: aerofon, tubofon, DIY

## SUMMARY

In the research the production of an aerophone called tubophone is presented. The whole process of creation, from the idea to the product can be seen. Watching the videos of street players using products made of improvised solid water pipes for their creation was a decisive factor when research subject was chosen. We were thinking of creating such a musical instrument in a school workshop by ourselves from flexible plastic pipes. The quality of the instrument should be good enough for playing but also stable enough for transport.

We have proven that we are capable to produce the instrument. The production of homemade tubophone makes sense because it cannot be bought. The tubophone is quite large as the pipes in the frame must be properly positioned without excessive bending which can result in changing of the pitch. We have shown that the predicted physical parameters are valid. We have used the pipes from the material whose properties could not be predicted and the choice of the material was risky. By making the musical instrument, we have proved that the pipes' length, thickness and the controlled folding of the material give the proper sound to the instrument. More photos can be found: [url.sio.si/tubofon123](http://url.sio.si/tubofon123).

Further research should be focused of improvements of the existing instrument. Transparent material might be used to make the musical instrument more attractive as it would be possible to take inside view of the instrument. The LEDs could be added to the instrument to illuminate the interior. All these improvements would increase the price of the prototype.

Keywords: aerophone, tubophone, DIY

# 1 UVOD

V raziskovalni nalogi bomo predstavili zamisel in izdelavo aerofona, natančneje tubofona, iz prilagodljivih gibljivih gradbenih cevi. Te cevi so iz umetne snovi in se prodajajo pod tržnim imenom StigmaFlex. Za raziskovalno nalogo smo se odločili zaradi zanimanja za glasbene inštrumente in domačo izdelavo le-teh. Raziskali bomo zmožnost izdelave tubofona v šolski delavnici ter prednosti in slabosti izdelave takšnega glasbila v praksi. Primerjali bomo fizikalne parametre zvoka s teoretičnimi postavkami za izbrani izdelek.

V raziskovalni nalogi bomo na kratko predstavili aerofone, razvoj podobnih glasbil po svetu, zgradbo in sestavo podobnih glasbil ter smiselnost gradnje takšnega glasbila. Zanimal nas bo tudi ekonomski vidik izdelave tubofona.

Naša denarna sredstva so omejena, zato se ne bomo odločili za izdelavo izdelka iz vodovodnih cevi. Določeni spojni elementi so pri izdelavi takšnega glasbila predragi in nesmotrni za nakup, saj bi jih potrebovali večje število. Pri iskanju ustrezne cevi smo prosili proizvajalce za donacije ali sofinanciran nakup cevi, vendar našim prošnjam ni bilo ugodeno. Nato smo poskusili poiskati material za ponovno uporabo, torej materiala, ki je že bil zavržen. V času prekomernega potrošništva je smiselno, da se v čim večji meri ponovno uporabi material, ki za nekoga že predstavlja odpadek, saj ni potrebe po uničevanju že uporabljenega materiala in s tem povečevanjem smeti. V poštev bi nam prišel kakršenkoli cevast polizdelek, ki bi bil dovolj fleksibilen, obenem pa na notranji strani dovolj gladek, da hrapavost oz. rebranost ne bi vplivala na fizikalne lastnosti tonov oz. bi ga celo preveč dušila. Na koncu smo se odločili za StigmaFlex cevi proizvajalca Stigma – cevni sistemi d.o.o., kupljene v lokalni trgovini z gradbenim materialom po sprejemljivi ceni.

Pri prenosu glasbila smo omejeni z merami prehodov med posameznimi prostori. Največja višina inštrumenta je 78 cm in je tako manjša od 80 cm, kar je standardna širina ožjih notranjih vrat. Mobilnost inštrumenta smo povečali tudi z uporabo vrtljivih koles, kar nam bo omogočalo enostavnejše prenašanje le-tega.

Pri izdelavi izdelka potrebujemo pomoč predvsem z razrezom OSB plošč ter pomoč v obliki nasvetov. Razmišljamo o težavah spajanja sestavnih delov, saj mora biti inštrument v celoti dovolj trden in prožen, da prenese obremenitve tolčenja in prestavljanja med prostori ter šolami. Težavo predstavlja tudi nepoznavanje lastnosti materialov. Večkratno udarjanje po plastičnih ceveh predstavlja morebitno obrabo materiala. Razmišljati bo treba tudi o zamenljivosti sestavnih delov tubofona. Za vprašanja pri izdelavi izdelka bo pomoč mentorjev dobrodošla. Tudi razrez velikih OSB plošč brez pomoči hišnika ne bo mogoča, saj nam ni dovoljeno pomagati pri delu s krožno žago.

Postavili smo si naslednje hipoteze:

H1: V šolski delavnici lahko izdelamo prenosno glasbilo iz gradbenih cevi.

H2: Glasbilo je lahko narejeno iz upognjenih gradbenih cevi, zaradi česar je bolj prenosljivo.

H3: Rezultati fizikalnih izračunov pred izdelavo glasbila potrjujejo, da so predvideni parametri (dolžina cevi, debelina, vpetost v okvir) ustrezni za pravilen zvok glasbila.

H4: Glasbilo deluje v praksi.

## 2 TEORETIČNI DEL

### 2.1 Opredelitev

Glasbilo je pripomoček za izvajanje glasbe. Po navadi je izdelan namensko, vendar je inštrument lahko karkoli, kar povzroča zvok ali ton.

Glasbil, ki so narejena iz cevi, oziroma iz daljšega in krajšega fizično omejenega, okroglega prostora, je ogromno. (Ledinek, 2016).

Nekaj primerov:

- trstenke,
- flavte,
- piščali,
- orgle.



Slika 1: Lesene piščali. (Slikovni viri: Slika 1).

Kar nekaj podobnosti in lastnosti našega glasbila, t.i. tubofona, najdemo pri orglah, ki delujejo na zelo podoben način. Že nepoznavalec lahko takoj opazi, da so sestavljene iz daljših in krajših piščali. Pri izdelavi našega izdelka bodo to cevi iz umetne snovi, ki so nepredvidljive zaradi svojih lastnosti. Tako kot orgle tudi naše glasbilo deluje na zrak, ki se širi po cevi, le da naša cev ni povsem gladka, ampak je hrapava in pri zvijanju rebrasta. (Fletcher, Tarnopolsky in Lai, 2002).



Slika 2: Orgle. (Slikovni viri: Slika 2).

Glasbilo je zanimivo tako z vidika delovanja, fizikalnega ozadja in posebnega zvoka kot tudi z vidika izgleda. S pomočjo mentorjev smo naš zanimiv inštrument uvrstili med aerofone.

Aerofoni so glasbila, ki svoj zvok oddajo predvsem tako, da povzročijo vibracijo zraka, za svoje delovanje pa ne uporabljajo nobenih strun ali membran. Po večini so sestavljena iz cevi, po katerih potujoči zrak ustvarja zvok. Aerofoni intonirajo, to pomeni, da dajo točno določeno tonsko višino ali frekvenco, ki jo v glasbi zapišemo z notami. V to delitev spadajo vsa trobila, pihala, harmonike, orgle ipd. (Wikipedia, 2018; Wikipedia, 2019a; Allen in Raghuvanshi, 2015).

## 2.2 Zgodovina in zgradba podobnih glasbil

Glasbilo je v osnovi sestavljeno iz cevi, ki so v notranjosti, ter iz ohišja, ki drži cevi skupaj, da je glasbilo stabilnejše. Ohišje lahko vsak posameznik prilagodi svojemu načrtu in ideji. Izdelovalci podobnih glasbil imajo različne zamisli, kako bi glasbilo oblikovali in uredili cevi, da bi bilo atraktivnejše. Svetovno znana glasbena skupina Blue Man Group za svoj glasbeni vrhunec koncertnega spektakla uporablja podobno glasbilo, ki je sestavljeno iz trših gladkih vodovodnih glasbenih cevi. Tako veljajo za začetnike uporabe podobnih inštrumentov. Našemu izdelku je podoben aerofon Kena Jekinsa, ki ima enako razporejene in uglasene cevi, podobno kot klavir. Tudi naš prototip je podobno zgrajen, saj se nam zdi, da je tubofon "univerzalen". Notranjost tubofona je lahko zelo raznolika zaradi izbire gradiva. Vsi, ki so takšno glasbilo že izdelali, so se trudili, da bi zmanjšali njegovo prostornino, saj je s tem izdelek mobilnejši. Tako je notranjost inštrumenta iz sistematično urejenih zloženih cevi ukrivljenih tako, da v največji meri zapolnijo prostor, ki je na voljo. Izdelek bi lahko bil sestavljen tudi iz neorganizirano nametanih cevi v ohišju in nato zakritih pred zunanostjo. A s tem bi se prostornina glasbila bistveno povečala.

Praviloma so na zgornji površini luknje, skozi katere so speljani začetki cevi. Le ti so iz ohišja dvignjeni tako, da lahko nanje udarjamo. Cevi se končajo z izhodom na sprednji oz. zadnji strani.



Slika 3: Ustvarjalec Snubby J.. (Slikovni viri: Slika 3).



Navdih za naš izdelek smo dobili od ameriškega glasbenika Kena Jekinsa oz. Snubbyja J.. Njegov videoposnetek na spletnem portalu YouTube, v katerem igra na svoj inštrument, je dosegel veliko gledanost. Njegovo prvo glasbilo, ki ga je sestavil, je sestavljeno iz trdih PVC cevi. Da je inštrument karseda zmanjšal, je moral uporabiti veliko vmesnih členov oziroma "kolen". To mu je omogočilo, da je tudi cevi, ki so dolge do več metrov, zelo dobro prostorsko oblikoval in zvil. Glasbenik je s svojim nastopanjem in glasbili že precej znan. Svoje spektakularne nastope izvaja po celem svetu. (Snubby J., b. d.).



Slika 4: Primer cevnega glasbila iz trdih cevi. (Slikovni viri: Slika 4).

V svojih videoposnetkih predstavlja izdelavo podobnih glasbil, v intervjujih pa delovanje svojih inštrumentov. Med drugim je navedel, da pri izdelavi glasbil potroši veliko denarja predvsem zaradi cevi in kolen, ki niso tako poceni. (Snubby J., b. d.).

Vse bi bilo veliko cenejše, če bi bila vsaka posamezna cev v enem kosu, vendar bi bil zaradi tega inštrument znatno večji.

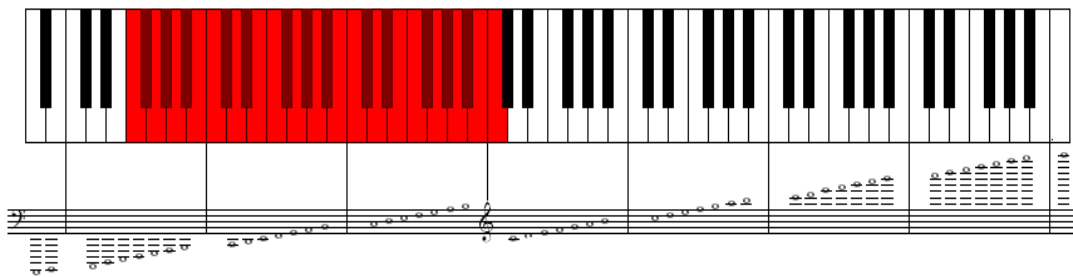
## 2.3 Fizikalno ozadje in uglasitev glasbila

*Opomba: V naši nalogi za označevanje tonov in oktav uporabljamo angleški sistem. Nemški sistem, ki se v Sloveniji pogosteje uporablja, se od angleškega razlikuje po tem, da npr. angleško noto B označi kot H, angleški B $\flat$  (za polton nižan B) pa kot B; nekatere oktave označi z imeni (npr. mala, velika), medtem ko angleški sistem za to uporablja številke. (Wikipedia, 2019b)*

Višina tona je določena s frekvenco vibracije zraka. Frekvenco merimo z enoto hertz (Hz), ki pomeni število valov v eni sekundi. Človeško uho zazna zvok do frekvence okoli 20 kHz oziroma 20000 Hz. Razmerja med toni določajo intervale, med katerimi je najpomembnejši oktava (razmerje 2:1). Tone, ki se razlikujejo za celo število oktav, označujemo z isto črko (npr. A<sub>3</sub> = 220 Hz, A<sub>4</sub> = 440 Hz, A<sub>5</sub> = 880 Hz). (Wikipedia, 2018; Mihalič, Mihevc in Stanič, b. d.).

Tubofon je uglasen temperirano, kar pomeni, da lahko oddaja samo nekatere določene tone, le-ti pa so med seboj enako oddaljeni. Določimo jih tako, da oktavo razdelimo na 12 enakih delov, to je poltonov. Razmerje med sosednjima tonoma je tako vedno  $^{12}\sqrt{2} \approx 1,059$ . Na takšen način so uglaseni skoraj vsi sodobni temperirano uglaseni inštrumenti, na primer klavir. (Petek, b. d.)

Naš tubofon ima 32 cevi, ki so razvrščene od F<sub>1</sub> ( $\approx 43,7$  Hz) do C<sub>4</sub> ( $\approx 261,6$  Hz) (srednji C). Njegov razpon je torej malo manj kot tri oktave.



Slika 5: Razpon tubofona v primerjavi s klaviaturo klavirja. (Slikovni viri: Slika 5).

Predvidevali smo, da bosta dolžina cevi in frekvenca v obratnem sorazmerju, torej bi npr. dvakrat daljša cev dala dvakrat oz. oktavo nižji ton. To je bilo načeloma pravilno, največja odstopanja so bila okoli 3 %.

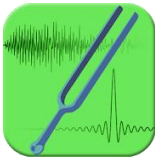





Pred pričetkom raziskovalne naloge smo kar precej razmišljali in se spraševali, z čim bi frekvence merili in na koncu uglasili cel tubofon. Preizkusili smo približno petindvajset različnih aplikacij, ki so zastonj na voljo v spletni trgovini Google Play, in primerjali dobljene rezultate. (Šolski Center Celje, b. d.).

Na začetku smo testirali samo aplikacije, ki so imele dobre ocene in mnenja uporabnikov, vendar so te velikokrat delale nezadovoljivo. Same aplikacije smo preizkušali s pomočjo uglasene klaviature in rezultate primerjali. Pri večini aplikacij se je zgodilo, da so pri večkratnem merjenju prikazovale različne rezultate, ki so imeli preveliko napako. V našem primeru smo potrebovali natančen rezultat z minimalno napako, da bi lahko dosegli svoj cilj, to je izdelati uglaseno glasbilo. Za merjenje s pomočjo telefona smo se odločili, saj se nam je zdelo najbolj primerno in priročno, glede na to, da nam boljši instrumenti niso bili na voljo. Spodaj navajamo nekaj različnih primerov aplikacij (Tabela 1).

**Super Piano Tuner** je aplikacija, ki jo je mogoče namestiti na pametni telefon z operacijskim sistemom Android. (Super Piano Tuner, 2017).

Aplikacijo smo uporabljali skozi celotno naše delo, saj smo si z njo pomagali pri merjenju frekvenc.

Tabela 1: Primeri aplikacij za merjenje frekvenc tonov

IME	IKONA/LOGO	OCENA (GOOGLE PLAY)	NAŠE MNENJE
Super Piano Tuner		3,0/5	Zelo dobra aplikacija, deluje, zelo natančna in enostavna za uporabo.
Audio Frequency Counter		4,3/5	Ob večkratnih merjenjih prikazuje različne rezultate.
Frequency measurement tool		2,4/5	Dokaj natančna in uporabna aplikacija.
Frequency Sound Generator		4,7/5	Dobro in natančno merjenje, vendar so zelo moteče že najmanjše motnje iz okolice (šumi, oddaljeno govorjenje, ipd.).
Advanced Spectrum Analyzer PRO		4,5/5	Dobro prikazovanje podatkov s pomočjo grafov, vendar za naše delo teh podatkov ne potrebujemo. Uporaba prezahtevna.
Instrument Tuner		4,2/5	Aplikacija je sredi meritve pogosto prenehala delovati ali pa je imela motnje v delovanju – zamike pri beleženju podatkov.

## 3 EMPIRIČNI DEL

Za izdelek smo se odločili zaradi zanimanja za domačo izdelavo posebnih glasbil, katerih ni mogoče kupiti v prodajalnah. Zanimali so nas podobni inštrumenti iz priljubljenega spletnega mesta YouTube. Z raziskovalno nalogo smo hoteli rešiti nekatere izzive, ki so bili jasni že pred začetkom izdelave izdelka, pri iskanju idej in prvih skicah bodočega izdelka. Nekateri izzivi pa so se pojavili med samo izdelavo.

### 3.1 Raziskovalna vprašanja

Idejo za raziskovalno nalogo smo dobili v videoposnetkih uličnih izvajalcev glasbe, ki za svoje delo uporabljajo podobne inštrumente. Naš izdelek je klasično zasnovan preko ideje, ki je bila sprva samo v naših mislih, do izdelka. Pred pričetkom raziskovanja smo si postavili raziskovalna vprašanja:

1. Ali lahko v šolski delavnici izdelamo prenosno glasbilo iz gradbenih cevi?
2. Ali je glasbilo lahko izdelano iz cenovno ugodnih gradbenih cevi, ki so cenejše in je izdelek zaradi tega bolj prenosljiv?
3. Ali so predvidevani rezultati fizikalnih izračunov pred izdelavo glasbila dovolj natančni, da bo zvok glasbila ustrezen?
4. Ali je lahko glasbilo uporabno v praksi za samostojno igranje oz. spremljavo?

Prvo raziskovalno vprašanje smo si zastavili, ker nas zanima, če lahko izdelamo glasbilo s pomočjo strojnega in ročnega orodja, ki ga lahko sami uporabljamo.

Drugo raziskovalno vprašanje smo si zastavili zaradi stroškovnega okvirja. Zaradi lastnosti gibljivih cevi bo izdelek drugačen kot pri že izdelanih izdelkih, ki jih najdemo na spletu. Zaradi uporabe gibljivih cevi tudi domnevamo, da bo celoten izdelek manjši, saj bodo cevi lahko ustrezno zvite in prepletene v manjšem ohišju glasbila.

Pri tretjem raziskovalnem vprašanju nas zanima, če bodo naša predvidevanja o dolžini cevi, izračunani frekvenci, premeru cevi itd. po izračunih dovolj natančna za izdelavo glasbila v praksi. S tem bodo ti podatki dovolj točni, da bo zvok glasbila uglašen.

Zadnje vprašanje je najpomembnejše, saj mora biti glasbilo uporabno.

### 3.2 Metode raziskovalnega dela

Pri raziskovanju smo se opirali predvsem na:

- metodo dela z literaturo in viri,
- metodo obdelave podatkov in interpretacije le-teh,
- metodo opazovanja in ugotavljanja,
- metodo preizkušanja in eksperimentiranja.

Tako kot samo idejo inštrumenta smo tudi celotno področje podobnih inštrumentov najprej zelo dobro pregledali, poiskali različne načrte izdelave in sestave izdelkov, ki so jih snovalci že naredili in svoje ideje delili. (Lee-Kuo, 2016).

Nato smo nekatere dobre lastnosti teh glasbil združili in jih uporabili pri ideji našega izdelka. Pri izdelavi našega izdelka je bilo predvidenega nekaj improviziranja in sprotnega iskanja rešitev, na katere se pred izdelavo nismo mogli pripraviti oz. predvidevati situacije. Tudi ob sami izdelavi smo opazovali in preizkušali lastnosti materialov ter različne ideje in ugotovitve, kar smo obračali v prid izboljšanja glasbila. Za zapis raziskovalne naloge smo uporabljali program Microsoft Word, za 3D izris in lažjo predstavo pa program SketchUp. Omenimo lahko tudi, da je program SketchUp plačljiv, zato smo uporabljali brezplačno začetno verzijo, ki ima omejene načine tiskanja izdelkov.

V programu SketchUp seveda nismo izrisovali cevi, vijakov, letvic ali česa podobnega. Izrisovanje le-tega se nam ni zdelo potrebno, saj naš namen ni bil imeti celoten izdelek v računalniški obliki. Za ta program smo se odločili predvsem zato, da si ohišje glasbila boljše predstavljamo. S pomočjo na takšen način narisane izdelka smo lažje predvidevali izdelavo. Tudi znanja za izrisovanje tako zahtevnih predmetov nimamo, zato se nam je to zdelo povsem odveč.

### 3.3 Tehniška in tehnološka dokumentacija

Tehniške in tehnološke dokumentacije smo se pri tem izdelku lotili podobno kot pri pouku tehnike in tehnologije. Pri izdelavi le-te smo si pomagali z učbeniki in delovnimi zvezki, ki smo jih uporabljali pri pouku. Tehnološki listi so podobni tistim, ki smo jih izpolnjevali pri urah tehnike in tehnologije. Glavno vodilo pri izdelavi dokumentacije je bila učinkovitost. Želeli smo, da nam napisano in narisano koristi pri izdelavi izdelka. Faze našega načrtovanja in s tem izdelave tehniške in tehnološke dokumentacije, bi tako lahko opredelili:

- iskanje ideje izdelave,
- skiciranje izdelka,
- risanje sestavnih delov,
- načrtovanje s 3D programom SketchUp,
- izdelava tehnoloških listov in kosovnice.

Vedeli smo, da bodo za izdelavo izdelka potrebna večja finančna sredstva, zato si nismo mogli privoščiti, da bi sestavne dele izdelali večkrat. Pri pouku tehnike in tehnologije smo največkrat risali v dveh dimenzijah v obliki pravokotne projekcije, predvsem v tlorisu. Zahtevnost ročnega risanja v izometrični projekciji je prevelika, da bi jo znali uporabiti pri našem izdelku.

Za izdelavo kompleksnejšega izdelka je bolj smiselno risanje v kateremkoli 3D programu za boljše prostorsko predstavbo. Glasbilo smo zato narisali s programom SketchUp in dobili bolj realno predstavbo izdelka. Z vrtenjem in obračanjem smo lahko pripravili določene malenkosti ter odpravili težave, ki so se v procesu izdelave pokazale kasneje.

Dobra lastnost programa SketchUp je tudi v tem, da program riše samo površinsko. S tem je strojno nezahteven in ga je mogoče z lahkoto uporabljati tudi s slabšimi računalniki. Uporaba programa pa je relativno preprosta.

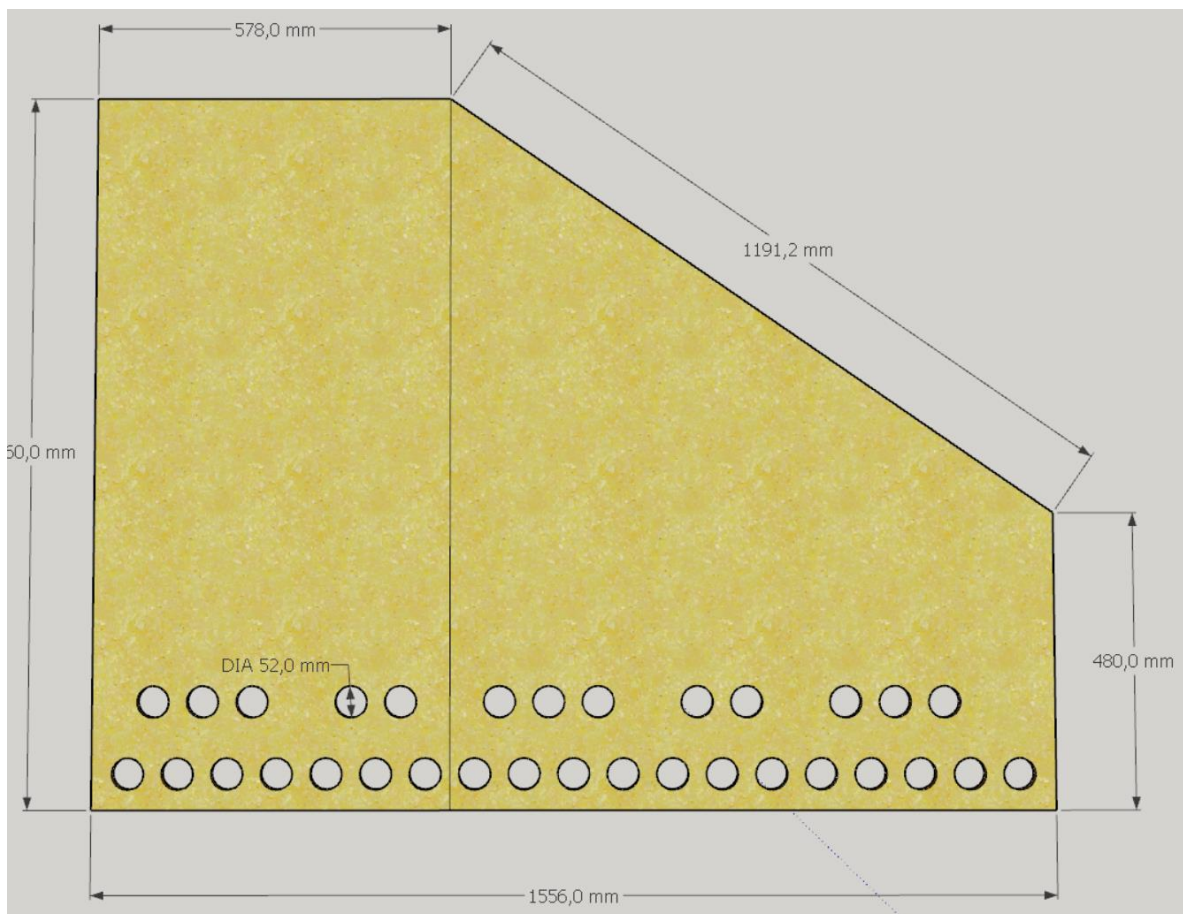
Ker ne poznamo vseh podrobnosti v programu za risanje, smo se odločili, da malenkosti ne bomo izrisovali. Tako nismo risali vijakov, kolesc in luknjic, saj za izdelavo našega glasbila takšne podrobnosti niso pomembne. Izdelek je zato narisani kot zaprta škatla brez prikazane vsebine notranjosti. Takšna predstava končanega izdelka je dovolj za naše raziskovanje. Če bi hoteli risati ukrivljenost cevi v glasbilu, bi moralo biti znanje uporabe programa SketchUp že na profesionalni ravni.



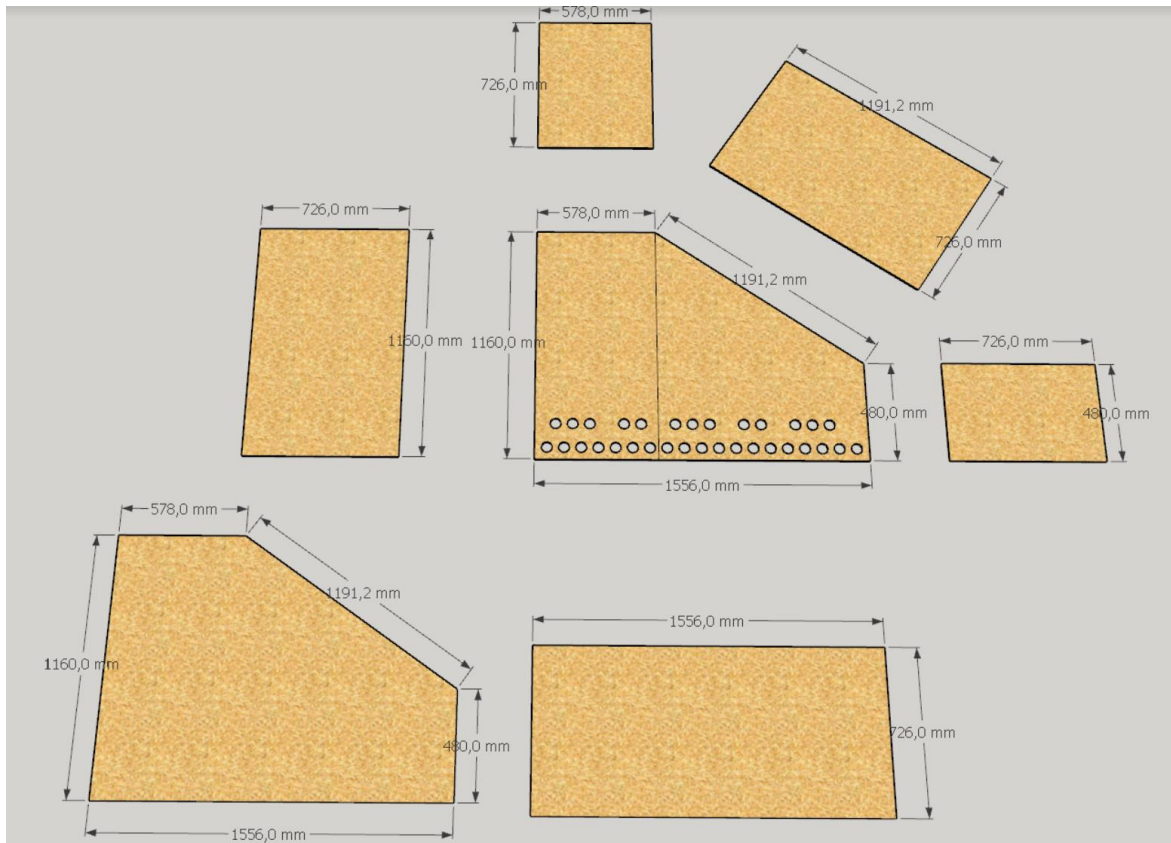
V tehnološke liste smo zapisovali podatke kar se da točno. Nekaj materiala je tudi ponovno uporabljenega iz zavrženega gradiva, zato smo te vsebine in predvsem cene, predvidevali. Tudi števila vijakov, dolžine cevi, količin lepila, velikosti OSB plošč ipd., nismo mogli vnaprej kupiti, zato smo zapisovali cene po dejanski rabi materiala. Cene smo zapisovali po dobavljenih kosih. Odpada je bilo ponekod več, kot je bilo predvideno.

Tudi kosovnico smo prilagodili našim potrebam. S tem smo minimalizirali dokumentacijo do te mere, da so navedeni samo podatki, ki smo jih potrebovali za izdelavo.

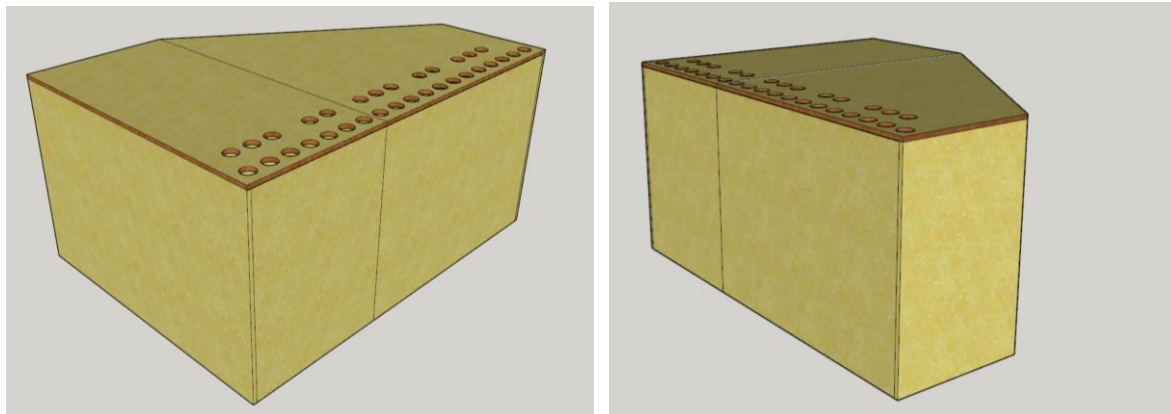
V celotnem izdelku, od ideje do načrta in izdelave, je prišlo tudi do spreminjanja tehniške in tehnološke dokumentacije zaradi nepredvidenih težav. Ker pa je to glasbilo v osnovi prototip, je takšen proces ustvarjanja pričakovan.



Slika 6: Zgornja plošča ohišja glasbila. (Slikovni viri: Slika 6).



Slika 7: Sestavni deli ohišja glasbila. (Slikovni viri: Slika 7).



Slika 8: 3D pogled glasbila iz dveh zornih kotov. (Slikovni viri: Slika 8).

Tabela 2: Tehnološki list za osnovo ohišja tubofona

<b>Tehnološki list</b>					
<b>Učenec:</b> Erik Červek Roškarič <b>Učenec:</b> Miha Golob <b>Učenec:</b> Matic Juršnik					
<b>Ime izdelka: TUBOFON - OHIŠJE</b>					
<b>Zap. št.</b>	<b>Delovne operacije</b>	<b>Orodja, stroji, naprave</b>	<b>Gradivo</b>	<b>Varstvo pri delu</b>	<b>Predviden čas</b>
1.	Skiciranje ideje	Svinčnik, ravnilo	Pisarniški papir A4	/	120 min
2.	Načrtovanje sestavnih delov	Računalnik, SketchUp, svinčnik, ravnilo, šestilo	Pisarniški papir A4	/	100 min
3.	Prenos mer na gradivo – OSB plošče	Svinčnik, ravnilo, šestilo, tračni meter, točkalo	Plošče OSB (Oriented Strand Board) 12 mm	Delovna halja	90 min
4.	Prenos mer na gradivo – smrekove letve	Svinčnik, ravnilo	Smrekove letve 20 mm x 20 mm	Delovna halja	10 min
5.	Razrez gradiva – les	Mizarski kombinirani stroj	Plošče OSB 12 mm	Delovna halja, zaščitna očala (šolski hišnik)	35 min
6.	Razrez gradiva – smrekove letve	Ročna lok žaga	Smrekove letve 20 mm x 20 mm	Delovna halja	20 min
7.	Vrtanje odprtín za cevi	Akumulatorski vijačnik, kronski sveder Ø53 mm	Plošče OSB 12 mm	Delovna halja, rokavice	60 min
8.	Vrtanje objemnih elementov	Akumulatorski vijačnik, kronski sveder Ø50 mm	Odpadna prešana plošča 4 mm	Delovna halja, zaščitna očala	15 min
9.	Mozničenje	Vrtalni stroj, sveder 5 mm, okrogla palica 5 mm	Plošče OSB 12 mm	Delovna halja, zaščitna očala	20 min
10.	Lepljenje in vijačenje	Čopič, lopatica, mizarske sponke, vijačnik, nastavki	Plošče OSB 12 mm, smrekove letve	Delovna halja	120 min



11.	Brušenje	Brusni papir: granulacije 120	Plošče OSB 12 mm, smrekove letve	Delovna halja	40 min
12.	Zarisovanje izhodnih lukenj	Merilni trak, svinčnik	/	Delovna halja	30 min
13.	Vrtanje izhodnih lukenj	Akumulatorski vrtalni stroj, sveder 53 mm	Plošče OSB 12 mm	Delovna halja, zaščitna očala	15 min
14.	Vijačenje	Akumulatorski vrtalni stroj, vijaki 25 mm	Plošče OSB 12 mm	Delovna halja	5 min
15.	Montaža koles	Akumulatorski vrtalni stroj,	Akumulatorski vrtalni stroj	Delovna halja	10 min
16.	Analiziranje	/	/	/	30 min

Tabela 3: Tehnološki list za pripravo in vgradnjo cevi

<b>Učenec:</b> Erik Červek Roškarič <b>Učenec:</b> Miha Golob <b>Učenec:</b> Matic Juršnik					
<b>Ime izdelka:</b> TUBOFON – CEVI					
Zap. Št.	Delovne operacije	Orodja, stroji, naprave	Gradivo	Varstvo pri delu	
1.	Skiciranje ideje postavitve cevi	Svinčnik	Pisarniški papir A4	/	70 min
2.	Razporejanje izhodnih lukenj	Svinčnik	Pisarniški papir A4	/	20 min
3.	Analiza dolžin cevi	Svinčnik, računalnik	Pisarniški papir A4	/	120 min
4.	Rezanje cevi	Tapetniški nož	Cevi, 65 m, Ø52 mm	/	80 min

5.	Uglaševanje cevi v ohišju	Tapetniški nož, prenosni telefon z aplikacijo	Cevi, 32 kos, Ø52 mm	/	120 min
6.	Lepljenje in pritrjevanje z žico	Vroča pištola za lepljenje, klešče	Lepilo – umetne snovi	/	20 min
7.	Analiziranje	Prenosni telefon z aplikacijo	/	/	60 min

Tabela 4: Tehnološki list za udarjalke

<b>Učenec:</b> Erik Črvek Roškarič <b>Učenec:</b> Miha Golob <b>Učenec:</b> Matic Juršnik					
<b>Ime izdelka: PRIPRAVA ZA UDARJANJE</b>					
Zap. Št.	Delovne operacije	Orodja, stroji, naprave	Gradivo	Varstvo pri delu	
1.	Skiciranje ideje	Svinčnik	Pisarniški papir A4	/	10 min
2.	Načrtovanje sestavnih delov	Svinčnik	Pisarniški papir A4	/	20 min
3.	Prenos mer na gradivo	Merilni trak, svinčnik, ravnilo, šestilo	Umetna snov, PVC plošča	Delovna halja	10 min
4.	Razrez gradiva	Škarje, tapetniški nož	Umetna snov, PVC plošča	Delovna halja	15 min
5.	Sestavljanje	Klešče, lepilo	Umetna snov, PVC plošča	Delovna halja	5 min
6.	Preizkušanje	/	/	/	10 min

Tabela 5: Kosovnica za osnovo

KOS	PREDMET	GRADIVO	MERE	CENA	NABAVA
7	Sprednja stranica ohišja	OSB plošča	1556 mm x 726 mm x 12 mm	31,50 €	1
	Stranska stranica ohišja 1	OSB plošča	1160 mm x 726 mm x 12 mm		
	Stranska stranica ohišja 2	OSB plošča	480 mm x 726 mm x 12 mm		
	Zgornja in spodnja ploskev	OSB plošča	1160 mm x 1556 mm x 12 mm		
	Zadnja stranica ohišja 1	OSB plošča	1191 mm x 726 mm x 12 mm		
	Zadnja stranica ohišja 2	OSB plošča	578 mm x 726 mm x 12 mm		
1	Notranja prečna ojačitev	Mediapan (MD)	350 mm x 550 mm x 3 mm	/	/
1	Vijaki križni MK371	Nerjaveče jeklo	M4 x 16 mm	1,89 €	1
7	Ojačitve	Smrekova letev	20 mm x 20 mm x 2 m	6,4 €	1
64	Objemni elementi cevi	Mediapan (MD)	70 mm x 70 mm	/	/
2	Vrtljivo kolo	Strojni element	50 mm	3,4 €	1
2	Fiksno kolo	Strojni element	50 mm	3,2 €	1
/	Sponke, lepilo, brusni papir	/	/	3 €	1

Tabela 6: Kosovnica za udarjalke

KOS	PREDMET	GRADIVO	MERE	CENA	NABAVA
1	Udarna ploskev	Odpadna ležalna blazina US	250 mm x 110 mm x 15 mm	/	/
1	Spojni element 1	Odpadna PVC plošča 4mm	250 mm x 110 mm x 15 mm	/	/
1	Spojni element 2	Lepilo (talilni vložki)	/	0,94 €	1

Tabela 7: Kosovnica - cevi

$k = 167,36$
$A = 440 \text{ Hz}$

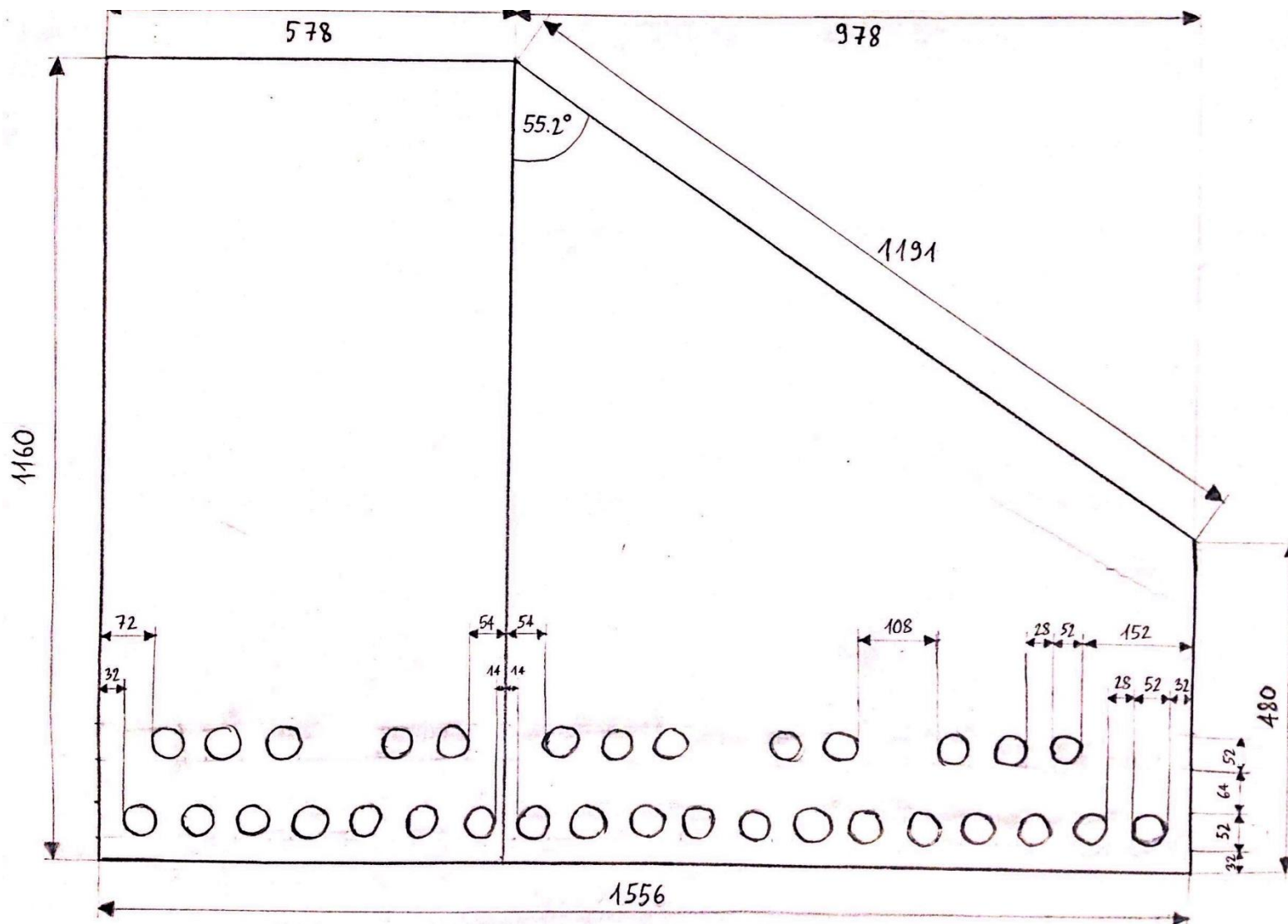
Cev #	Ton *	Predvideni parametri		Dejanski parametri pri prvem rezanju cevi **		
		Frekvenca [Hz]	Dolžina [mm]	Frekvenca [Hz]	Dolžina [mm]	$k = \text{frekvenca} \times \text{dolžina [m/s]}$
1	F <sub>1</sub>	43,65	3834	37,49	4500	168,7
2	F# <sub>1</sub>	46,25	3619	44,10	3800	167,6
3	G <sub>1</sub>	49,00	3416	47,13	3600	169,7
4	Ab <sub>1</sub>	51,91	3224	49,40	3420	169,0
5	A <sub>1</sub>	55,00	3043	52,44	3250	170,4
6	Bb <sub>1</sub>	58,27	2872	55,22	3050	168,4
7	B <sub>1</sub>	61,74	2711	57,89	2940	170,2
8	C <sub>2</sub>	65,41	2559	62,07	2700	167,6
9	C# <sub>2</sub>	69,30	2415	65,40	2560	167,4
10	D <sub>2</sub>	73,42	2280	70,50	2400	169,2
11	Eb <sub>2</sub>	77,78	2152	74,28	2250	167,1
12	E <sub>2</sub>	82,41	2031	79,23	2120	168,0
13	F <sub>2</sub>	87,31	1917	83,62	2006	167,7
14	F# <sub>2</sub>	92,50	1809	87,40	1900	166,1
15	G <sub>2</sub>	98,00	1708	91,40	1830	167,3
16	Ab <sub>2</sub>	103,83	1612	99,11	1700	168,5
17	A <sub>2</sub>	110,00	1521	103,52	1610	166,7
18	Bb <sub>2</sub>	116,54	1436	110,12	1520	167,4
19	B <sub>2</sub>	123,47	1355	116,04	1440	167,1
20	C <sub>3</sub>	130,81	1279	120,3	1350	162,4
21	C# <sub>3</sub>	138,59	1208	131,7	1260	165,9
22	D <sub>3</sub>	146,83	1140	139,2	1200	167,0
23	Eb <sub>3</sub>	155,56	1076	145,5	1140	165,9

24	E <sub>3</sub>	164,81	1015	153,7	1075	165,2
25	F <sub>3</sub>	174,61	958	164,6	1015	167,1
26	F <sub>#3</sub>	185,00	905	166,5	984	163,8
27	G <sub>3</sub>	196,00	854	***	900	***
28	A <sub>b3</sub>	207,65	806		850	
29	A <sub>3</sub>	220,00	761		810	
30	B <sub>b3</sub>	233,08	718		770	
31	B <sub>3</sub>	246,94	678		720	
32	C <sub>4</sub>	261,63	640		680	
		Skupna dolžina	<b>57547 mm</b>	Skupna dolžina	<b>61350 mm</b>	

\* Glej opombo pri razdelku 2.3 (stran 10).

\*\* Odrezali smo malo daljše cevi, kot bi jih teoretično potrebovali. Vedeli smo, da se bo z zvijanjem cevi spremenila višina tona.

\*\*\* Zadnjim šestim izdelanim cevem nismo merili frekvence.



Slika 9: Skica prostoročnega risanja zgornje stranice glasbila (Slikovni viri: Slika 9).

## 3.4 Izdelava glasbila tubofon

Pri izdelavi izdelka je najpomembnejša varnost pri delu. Zaradi varnosti nismo opravljali razreza gradiva (razrez OSB plošč, razrez letvic in razrez cevi). Omenjeno je izvajal mentor s pomočjo šolskega hišnika. Ostalo strojno in ročno obdelavo smo opravljali sami. Med izdelavo je bilo tudi nekaj novih načinov in postopkov obdelave gradiv, kot npr. strojno brušenje z ročnim električnim tračnim brusilnim strojem ter vrтанje lukenj premera 50 mm in 53 mm s kronskimi svedri.

Pri delu smo vedno uporabljali obvezna zaščitna sredstva, kot so predpasnik, rokavice in zaščitna očala ter s tem zadostili varnosti pri delu.

### 3.4.1 Nakup in dobava sestavnih delov

Pri izbiri in nabavi gradiva za izdelavo glasbila smo bili precej omejeni s finančnimi sredstvi. Izbirali smo med več opcijami, na koncu smo se odločili za najcenejše možno gradivo oz. polizdelke. Želeli smo narediti izdelek, ki bo učinkovit in večkratno uporaben. V kolikor se bo pri igranju na instrument kakšen sestavni del obrabil ali polomil, smo ugotavljali, da ga bo mogoče uspešno zamenjati brez večjih posegov.

Cevi, za katere smo se odločili, so veliko cenejše od togih plastičnih vodovodnih cevi, katerih je na tržišču več vrst. Zaradi naše izbire cevi ne potrebujemo vmesnih kolen, saj se cevi lahko zvijajo. Ta rešitev nam zelo zmanjša stroške, čas izdelave in izboljša preglednost nad notranjostjo izdelka. Cev za posamezni ton je tako lahko odrezana in zvita v enem kosu. Nabave in cene sestavnih delov so navedene v Tabeli 5 in Tabeli 8.

Tabela 8: Cene gradiv polizdelkov in sestavnih delov

z. št.	Polizd./izdelek	Št. kosov	Mere	Cena (1 kos)	Cena (skupaj)
1	Cevi StigmaFlex	75 m	Ø52 mm	0,51 €/m	38,25 €
2	OSB plošče	7	2,5 m x 1,2 m	4,5 €	31,5 €
3	Smrekove letve	14 m	20 mm x 20 mm	0,4 €/m	6,4 €
4	Vrtljiva kolesa	2	50 mm	1,7 €	3,4 €
5	Nevrtljiva kolesa	2	50 mm	1,6 €	3,2 €
6	Ostalo (vijaki, lepilo, sponke..)	/	/	/	6,2 €
Skupaj:					88,45 €

Ves material, razen cevi, je bil nabavljen pri podjetju OBI d.o.o., OSB plošče so bile kupljene v Trgovini Jager.

### 3.4.2 Priprava cevi za tubofon

V prvi fazi izdelave izdelka smo pripravili cevi za tubofon. S fizikalnimi izračuni smo določili dolžine cevi (Tabela 7). Izračunali smo, da bo najkrajša cev dolga 640 mm, najdaljša pa 3834 mm. Ker smo vedeli, da bo ukrivljenost cevi spremenila lastnosti zvoka, smo se odločili, da bomo vsaki cevi dodali nekaj rezervne dolžine, ki jo bomo pri uglaševanju po potrebi odrezali.

Pred pričetkom rezanja cevi smo imeli kar nekaj težav, saj smo iskali način, kako bi jih rezali, da bi bili rezani robovi enakomerno gladki. Pri rezanju cevi smo morali biti zelo natančni, saj mora biti tubofon uglasen zelo natančno. Žaganje cevi se ni obneslo. Najboljši rezultat smo dobili kar z uporabo navadnega tapetniškega noža. Ker cevi niso trde in debele, je možen zelo natančen urez. Dodatne obdelave robov tako ni bilo potrebno izvajati.



Slika 10: Priprava cevi pred vgradnjo v zgornjo ploščo glasbila. (Slikovni viri: Slika 10).

### 3.4.3 Izdelava ohišja tubofona

Pri načrtovanju smo imeli največje težave pri vizualni predstavi glasbila. Zaradi ukrivljanja cevi nismo dovolj natančno vedeli, kakšno prostornino bodo zavzele. Vedeli smo, da bodo krajše cevi na eni strani, daljše na drugi, zato smo prilagodili ohišje glasbila (glej spodnjo sliko 11).



Slika 11: Sestavljanje ohišja glasbila. (Slikovni viri: Slika 11).



Za izgradnjo ohišja smo se odločili za OSB plošče, ker so razmeroma poceni in nudijo dovolj dobro stabilnost, da lahko naredimo ohišje, ki bo odporno na vibracije ob tolčenju in na prenašanje. Ker smo imeli preračunano količino OSB plošč za celoten izdelek, smo morali odpadne dele plošč sestavljati skupaj in lepiti, da smo porabili ves material. Ob robovih plošč smo celotno ohišje ojačali z smrekovimi letvicami, ki so dimenzije 20 mm x 20 mm. Letvice smo krajšali z ročno žago. Z uporabo letvic smo dobili večjo stično površino, s tem pa večjo ploščino lepjenja in posledično trdnejši izdelek. Letvice so še dodatno vijačene z lesnimi vijaki. Zaradi takšnega načina uporabe letvic se daljše OSB plošče niso upogibale na sredini. Sestavni deli so se med seboj prilagajali. Robove plošč smo zbrusili z električnim ročnim tračnim brusilnim strojem.



Slika 12: Brušenje ohišja z el. ročnim tračnim brusilnim strojem. (Slikovni viri: Slika 12).

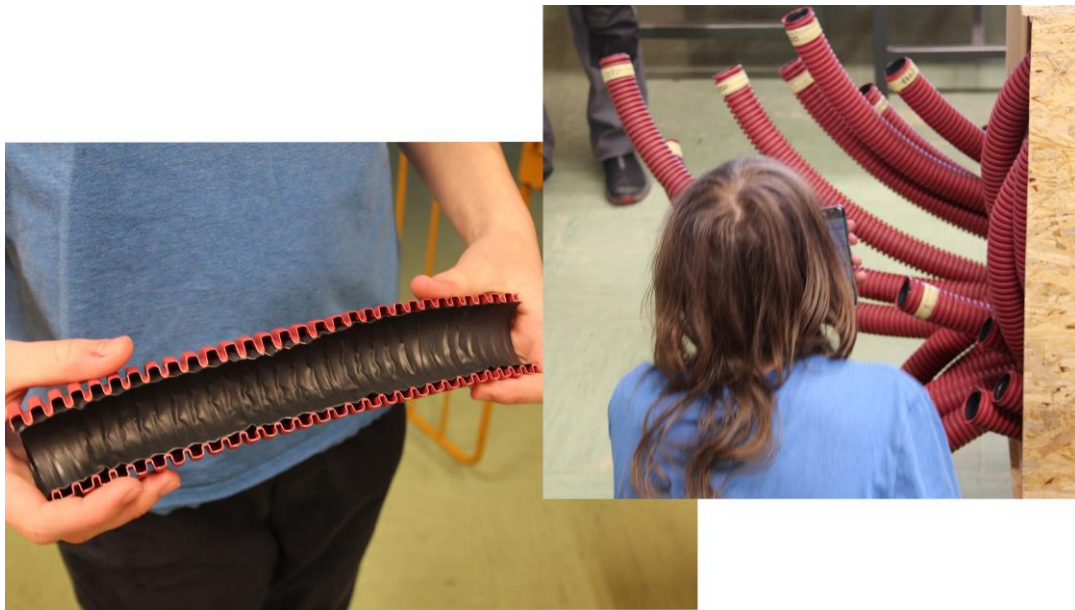
Luknje, skozi katere so napeljane cevi na zgornjo in zadnjo stranico tubofona, smo vrtali s kronskim svedrom za les in z uporabo akumulatorskega vijačnika. Ker je lesni material zelo lahko obdelovati, so luknje zelo dobro in enakomerno izvrtane. Ker je lukenj veliko, je bilo potrebno kronski sveder med delom brusiti, kar je opravil naš šolski hišnik.



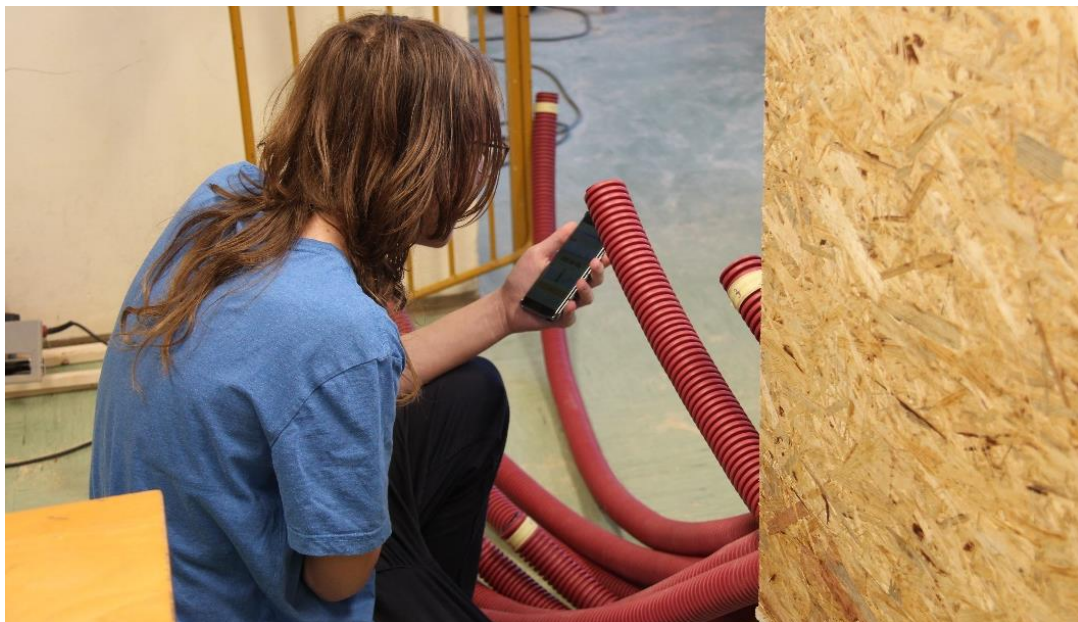
Slika 13: Vrtanje lukenj s kronskim svedrom. (Slikovni viri: Slika 13).

### 3.4.4 Montaža sestavnih delov

Za tubofon smo uporabili upogljive gradbene cevi (dvoslojna kabelska cev, ki se prodaja pod blagovno znamko StigmaFlex), ki smo jih lahko zvali in spravili v ohišje. Ugotovili pa smo, da ko cev zvijemo, se ton, ki ga odda, spremeni - postane nekoliko višji. To se zgodi zaradi tega, ker se z zvijanjem cev naguba na notranji površini, kar zmanjša notranjo prostornino ter tudi spremeni dolžino cevi. Zato smo morali cevi najprej približno zviti znotraj inštrumenta in njihovo frekvenco izmeriti v takem položaju.



Slika 14: Prečni prerez in montaža cevi v notranjosti glasbila (Slikovni viri: Slika 14).



Slika 15: Merjenje frekvenc pred končnim krajšanjem cevi. (Slikovni viri: Slika 15).

Po končanem ohišju smo se lotili montaže cevi na zgornji ploskvi ohišja tubofona. Eden izmed večjih problemov, s katerimi smo se srečali, je bilo pritrjevanje cevi na zgornjo ploščo. Ta je namreč najbolj občutljiv element celotnega tubofona, saj na njej udarjamo po ceveh, s tem pa ustvarimo tudi največ vibracij. Spoji morajo biti zato izjemno fiksni. Imeli smo več idej. Cevi bi lahko zalepili s silikonskimi lepili, a bi takšni spoji po določenem času verjetno popustili in še uporaba teh lepil nam je neznana. Druga ideja je bila, da bi cevi pribili z majhnimi žeblički ali pripeli s sponkami. To idejo smo hitro opustili zaradi nedostopnosti zabijanja žebličkov in motenj, ki bi jih z luknjanjem in vstavljanjem povzročili kvaliteti in ustreznosti zvoka. Po fiksiranju dveh takih cevi smo to možnost opustili. Z različnimi testi in preizkušanjem, ki smo jih naredili in raziskali, smo našli zelo dobro rešitev. V tanko deščico smo izvrtali luknje, ki imajo manjši premer kot največji premer cevi. Nato nam je hišnik desko z luknjami po sredini prerezal (Slika 16). Tako smo lahko rebrasto cev »objeli« iz obeh strani. To je omogočilo zelo veliko trdnost in se tako cevi ob igranju niso pomikale v notranjost inštrumenta.



Slika 16: Vpenjanje rebrastih cevi. (Slikovni viri: Slika 16).

Nato smo se lotili pritrjevanja cevi na stranske stranice glasbila. Pred tem smo morali cevi uglasiti, kar nam je vzelo precej časa. Frekvenco zvoka smo merili z aplikacijo Super Piano Tuner. Ta je iz zvoka izračunala glasnost posameznih frekvenc in na zaslonu izpisala najglasnejšo. Ta večinoma ni bila osnovni ton cevi, temveč eden izmed harmonskih oziroma alikvotnih tonov, katerih frekvenca je večkratnik frekvence osnovnega tona. Pri akustičnih inštrumentih vedno zvenijo zraven osnovnega tona. Zato smo morali osnovni ton izračunati tako, da smo izmerjeno frekvenco delili s celim številom. (Pri osnovnem tonu s frekvenco npr. 50 Hz dobimo še alikvotne tone pri 100, 150, 200... Hz. Alikvotni toni (tudi sozveneči toni, sotoni, parcialni toni, višjeharmonski toni) so skoraj neslišno sozveneči toni ob določenem osnovnem tonu in skupaj z njim tvorijo zven, tonsko zlitino, ki je ključna za barvo osnovnega tona. (Michels, 2002)).





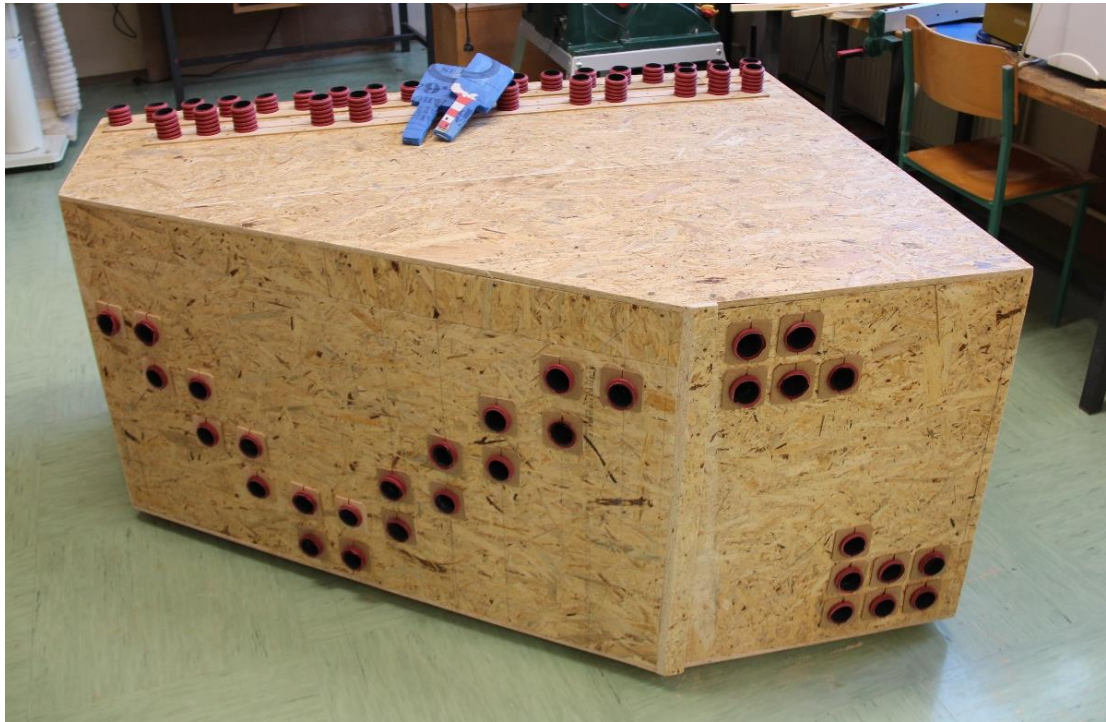
Slika 17: Pritrjevanje zadnje stranice glasbila. (Slikovni viri: Slika 17).

Mobilnost inštrumenta smo povečali z uporabo kolesc. Kolesa smo privijačili z lesnimi vijaki. Celotno glasbilo smo tudi pobrusili.

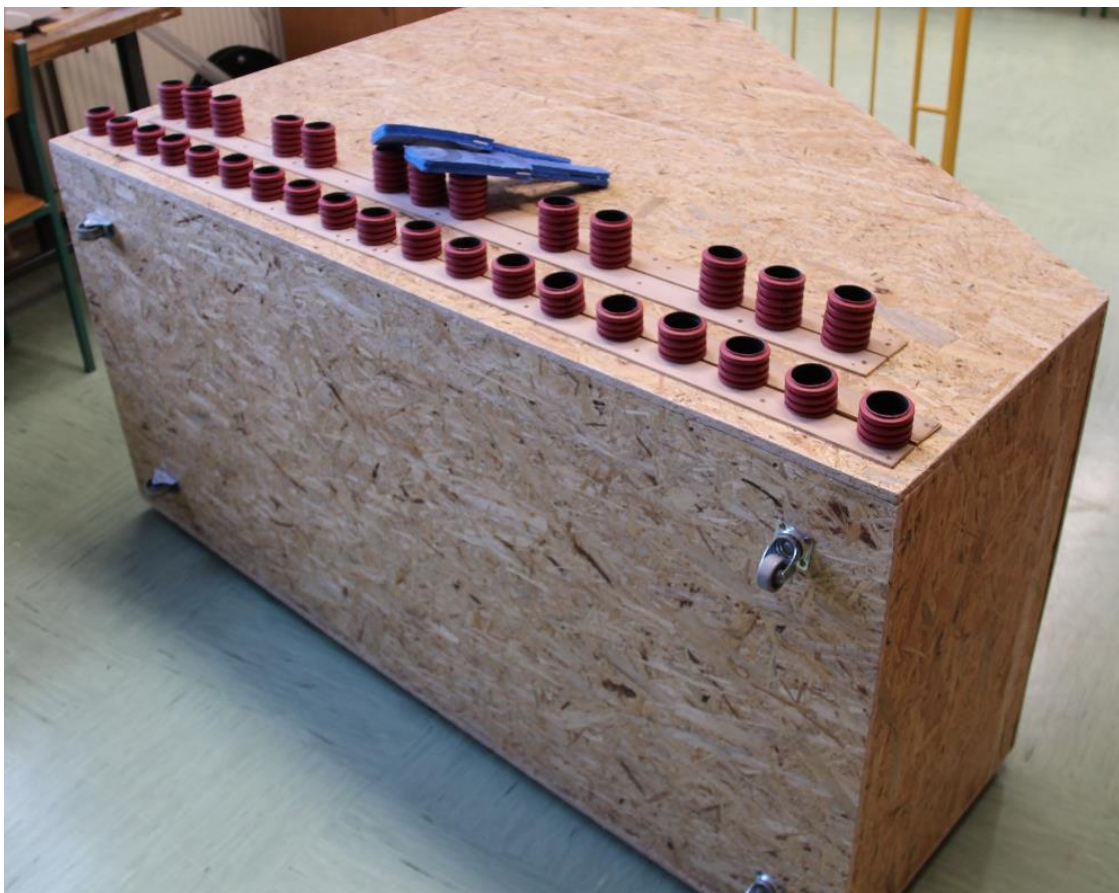


Slika 18: Pritrjevanje koles tubofona. (Slikovni viri: Slika 18).





Slika 19: Končani izdelek – zadnji del glasbila tubofon. (Slikovni viri: Slika 19).



Slika 20: Končani izdelek – prednji del glasbila tubofon. (Slikovni viri: Slika 20).

### 3.4.5 Izdelava udarjalk

Dolgo smo se pogovarjali in spraševali različne ljudi, iz česa bi naredili nekakšne udarjalke za igranje na tubofon. Na internetu smo zasledili, da nekateri glasbeniki uporabljajo kar raznovrstne podplate od čevljev ali natikačev. Ugotovili smo, da bi morala biti udarjalka iz penjene umetne snovi ali gume. Pri udarjanju se mora prilagoditi cevi tudi v primeru, da luknje ne zadeneš popolnoma natančno. Udarjalke smo izdelali iz odpadne podloge za na plažo, saj je ta material zelo primeren. Ob tem pa smo se izognili še dodatnemu strošku, da bi gradivo kupili. Pomislili smo na ekološki vidik in pri našem projektu tudi nekaj ponovno uporabili.



Slika 21: Improvizirane udarjalke. (Slikovni viri: Slika 21).

## 4 REZULTATI IN OCENITEV RAZISKOVALNIH VPRAŠANJ

Naše osnovno vprašanje in namen raziskovalne naloge je bilo raziskati, ali je mogoče izdelati delujoč instrument, t. i. tubofon, doma oz. v šolski delavnici. Ob tem nas je zanimalo, če je lahko glasbilo narejeno iz gibljivih gradbenih cevi, da bo lažje in bolj prilagodljivo. Nenazadnje pa nas je zanimalo tudi, če bo glasbilo dovolj atraktivno med igranjem, oziroma ali bo sploh delovalo v praksi.

### **Ali lahko v šolski delavnici izdelamo prenosno glasbilo iz gradbenih cevi?**

Pri tej hipotezi smo ugotovili, da je glasbilo mogoče izdelati v šolski delavnici, vendar je to zelo odvisno od opremljenosti delavnice in tudi samega načina izdelave. Naše glasbilo smo izdelali v naši šolski delavnici, a smo si pomagali tudi s stroji in orodji, ki smo jih prinesli od doma. V boljše opremljeni delavnici bi lahko izdelali še boljši izdelek brez improvizacije, ki smo jo mi občasno uporabljali. Vendar je to, kar nam je uspelo, zelo dobro za naše osnovnošolsko znanje. Celoten izdelek je uspel tudi s pomočjo hišnika, saj nam je prikazal določene načine obdelave gradiv, ki jih še nismo poznali. Tubofon bi lahko še dodatno obdelali. Vsekakor pa potrjujemo prvo hipotezo, da je izdelava prenosnega glasbila iz gibljivih gradbenih cevi mogoča v šolski delavnici.

### **Ali je glasbilo lahko izdelano iz cenovno ugodnih gradbenih cevi in je s tem tudi izdelek bolj prenosljiv?**

Glasbilo nam je uspelo izdelati iz zvitih gradbenih cevi. Tubofon ima s tem manjšo prostornino kot v primeru, da cevi ne bi bile zvite. Vendar z odločitvijo za gibljive cevi, nismo nič zmanjšali velikosti inštrumenta, kot če bi ga izdelali iz trdih cevi, izdelek z uporabo fiksnih cevi bi pa bil večkratno dražji. Ohišje je takšnih mer, da tubofon lahko spravimo skozi običajna vrata. Opazimo lahko tudi zelo velike prednosti gibljivih cevi. Le-te so za posamezni ton izdelane iz enega samega kosa in ne iz več, kar nam je zelo olajšalo delo. Imeli smo veliko manj rezanja posameznih delov, manj načrtovanja in razmišljanja, kako bi cevi karseda stisnili in zmanjšali, kot smo to opazili pri posameznih inštrumentih na spletu. Cevi so namreč zelo prilagodljive in s tem same zapolnijo določeno praznino v notranjosti glasbila. Z našo idejo o upogljivih ceveh smo zelo zadovoljni, čeprav smo kasneje na spletu videli podobno idejo, vendar ne v takšnem obsegu kot je naša. Torej je glasbilo lahko narejeno iz upognjenih gradbenih cevi, vendar zaradi tega ni bolj prenosljivo, ker ohišja in celotne mase glasbila, v primerjavi z opaženim glasbilom na platformi YouTube, nismo zmanjšali.

### **Ali so predvidevani rezultati fizikalnih izračunov pred izdelavo glasbila dovolj natančni, da bo zvok glasbila ustrezen?**

Pri tem vprašanju lahko primerjamo izračune pred izdelavo glasbila in rezultate, ki jih prikaže izdelano glasbilo. Parametri, ki smo jih izračunali, zelo dobro sovpadajo z rezultati. Do večjih odstopanj v predvidenih frekvencah posameznih cevi in izmerjenih frekvencah ob igranju na glasbilo ne prihaja. Zaradi dobrega načrtovanja izdelka in predvidevanja, da bo zvijanje cevi

spreminjalo frekvenco zvoka, smo izničili vplive, ki jih izdelava takega glasbila povzroča. Potrdimo lahko, da je izdelava glasbila po predvidevanih izračunih mogoča. Zvok, ki ga proizvaja glasbilo, je natančen pri vseh 32 ceveh.

### **Ali je glasbilo sploh lahko uporabno v praksi za igranje oz. spremljavo?**

Glasbilo je preizkušeno. Z njim je zaigranih več melodij, katere prisotni učenci in učitelji takoj prepoznajo. Zvok glasbila je poseben in izjemno atraktiven. Proizveden zvok je natančen, igranje na inštrument pa zahteva določeno znanje. Na glasbilo je potrebno udarjati čimbolj pravokotno na cevi. Potrdimo lahko, da je izdelek uspešno izdelan za uporabo v praksi.

V sklopu naše raziskovalne naloge smo si določili štiri enostavne hipoteze. Prvo, tretjo in četrto hipotezo lahko tako potrdimo. Drugo hipotezo pa moramo zavreči, saj naš izdelek ni bolj prenosljiv, kot je bilo predvideno, ampak je celo manj prenosljiv, saj je večji.



## 5 ZAKLJUČEK

Naša raziskovalna naloga je temeljila na dejstvu, da izdelamo atraktiven izdelek, katerega izdelava bo poceni. Že pri snovanju izdelka smo imeli v mislih cenovne omejitve. Celotni izdelek smo naredili brez večjih napak. Zato tudi ni bilo potrebno nobenega nakupa dodatnega gradiva. Pri izdelavi smo samo eno cev preveč odrezali in s tem dobili nepravilen ton. Zamenjava te cevi je bila zelo lahka, saj smo s sistemom fiksiranja cevi poskrbeli, da lahko sestavne dele na enostaven način zamenjamo.

Za celoten izdelek smo potrebovali ogromno časa. Predvidevamo, da je bilo za izdelavo izdelka, od prve faze – ideje do končnega izdelka, porabljenih 90 ur dela v delavnici. Hišnik je porabil 6 ur, da nam je razrezal OSB plošče in svetoval ter nas skupaj z mentorjem nadzoroval pri obdelavi gradiv s postopki, ki jih še nismo poznali.

Pri izdelavi smo imeli veliko težav, ki smo jih uspešno reševali (npr. omejitev prostora zaradi uporabe letvic je povzročalo težavo pri vrtanju lukenj za cevi, problem zvijanja daljših OSB plošč, težave z udarjalkami, problem fiksiranja cevi itd.).

Opažamo kar nekaj možnosti za izboljšanje oz. posodobitve izdelka. Razmišljali smo o možnosti, da bi vrezali stransko ploščo glasbila in mu dodali prozoren del. S tem bi lahko videli notranjost izdelka. V tem primeru bi lahko dodali tudi LED osvetlitev, saj bi bil tubofon tako še bolj atraktiven.

Glasbilo bi lahko oblepili s tkanino in s tem skrili OSB plošče. Zaradi izrezovanja lukenj v tkanino pa bi močno podaljšali izdelavo prototipa. Glasbilo bi bilo tudi prijetnejše na otip in za prenašanje. Za prevažanje glasbila bi bilo smiselno narediti tudi ročaje. Spodnje noge glasbila bi morali oblepiti s kakšno protidrsno tkanino z namenom, da ne drsi in pušča sledi na tleh.

Nadaljnje raziskovanje in delo z glasbilom bi lahko nadaljevali v smeri opaženih posodobitev prototipa. Glasbilo bo vsekakor uporabno in je izdelano tako, da bo v naslednjih letih nanj možno večkratno igranje.

## 6 VIRI IN LITERATURA

### Viri in literatura:

- Aerofoni*. (2018). Na Wikipedia.org. Pridobljeno 5. 2. 2019 s  
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Aerofoni>.
- Aerophone*. (2019a). Na Wikipedia.org. Pridobljeno 5. 2. 2019 s  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Aerophone>.
- Aerophones*. (b. d.). Na edu.xunta.es. pridobljeno 14. 2. 2019 s  
<https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1461829433/contido/aerophones.html>.
- Allen, A., Raghuvanshi, N. (2015). *Aerophones in Flatland: Interactive Wave Simulation of Wind Instruments*. Pridobljeno 10. 2. 2019 s  
<https://projet.liris.cnrs.fr/m2disco/pub/Congres/2015-SIGGRAPH/content/papers/134-0576.done.pdf>.
- Fletcher, N., Tarnopolsky, A.Z. in Lai, J. (2002). *Rotational aerophones*.  
The Journal of the Acoustical Society of America. 111. 1189-96. 10.1121/1.1446053.  
Pridobljeno 12.12.2018 s  
[https://www.researchgate.net/publication/11434823\\_Rotational\\_aerophones](https://www.researchgate.net/publication/11434823_Rotational_aerophones).
- Harmonic series (music)*. (2018). Na Wikipedia.org. Pridobljeno 15. 2. 2019 s  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic\\_series\\_\(music\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Harmonic_series_(music)).
- Key signature names and translations*. (2019b). Na Wikipedia.org. Pridobljeno 26. 2. 2019 s  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Key\\_signature\\_names\\_and\\_translations](https://en.wikipedia.org/wiki/Key_signature_names_and_translations).
- Ledinek, M. (2016). *Inovativnost pri izdelavi novih glasbil; doma narejena glasbila*.  
Pridobljeno 16. 1. 2019 z Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta:  
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=92977>.
- Lee-Kuo, T. (2016). *Pipe Instrument Manual nearly ready*. Pridobljeno 12. 12. 2018 s  
[https://drive.google.com/file/d/0B8wAKeesf\\_poUFFMcFlkSGlpcTA/view](https://drive.google.com/file/d/0B8wAKeesf_poUFFMcFlkSGlpcTA/view).
- Michels, U. (2002). *Glasbeni atlas* (1. natis, str. 14-17). Ljubljana: DZS.
- Mihalič, L., Mihevc, M. in Stanič, Ž. (b. d.a). *Povzetek, v Glasba, i-učbenik za glasbo v gimnazijskem programu*, pridobljeno 18. 2. 2019 s  
<http://eucbeniki.sio.si/gls/3247/index4.html>.
- Mihalič, L., Mihevc, M. in Stanič, Ž. (b. d.b). *Višina tona, v Glasba, i-učbenik za glasbo v gimnazijskem programu*, pridobljeno 18. 2. 2019 s  
<http://eucbeniki.sio.si/gls/3247/index1.html>.
- Monzo, J. (2002). *The note "H" in German musical nomenclature*. Pridobljeno 1. 3. 2019 s  
<http://www.tonalsoft.com/enc/g/german-h.aspx>
- Obdelava zvoka*. (b. d.). Šolski Center Celje - Gimnazija Lava, pridobljeno 18. 2. 2019 s  
<http://web.sc-celje.si/tomi/Seminarske2013/Zvok/ObdelavaZvoka/>

Petek, B. (b. d.). *Alikvotni toni*. Pridobljeno 18. 2. 2019 s  
<https://sites.google.com/site/bostjanpetek08b/alikvotni-toni>.

Snubby J. [YouTube kanal, 2007]. Pridobljeno 16. 10. 2019 s  
<https://www.YouTube.com/user/snubbyj/videos?sort=p&flow=grid&view=0>.

Super Piano Tuner. (2017). [aplikacija, verzija 38.0]. Na play.google.com, s  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=antchr2.spt&hl=sl>.

Thomson, W. E. (b. d.). *Musical sound*. Pridobljeno 14. 2. 2019 s  
<https://www.britannica.com/science/musical-sound#ref529662>.

### **Slikovni viri:**

Slika 1: Lesene piščali. Dostop:  
<https://d1aeri3ty3izns.cloudfront.net/media/9/99492/1200/preview.jpg> (1. 2. 2019).

Slika 2: Orgle. Dostop:  
[https://s0.geograph.org.uk/geophotos/05/24/01/5240167\\_c66136cc.jpg](https://s0.geograph.org.uk/geophotos/05/24/01/5240167_c66136cc.jpg) (1. 2. 2019).

Slika 3: Ustvarjalec Snubby J. Dostop:  
<https://i.ytimg.com/vi/tzAmDBQPQ2o/maxresdefault.jpg> (20. 1. 2019)

Slika 4: Primer cevne glasbila iz trdih cevi. Dostop:  
<https://i.ytimg.com/vi/yKN3PJ0KJ2o/maxresdefault.jpg> (1. 2. 2019)

Slika 5: Razpon tubofona v primerjavi s klaviaturo klavirja. Dostop:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scales\\_and\\_keyboard.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scales_and_keyboard.png) (28. 2. 2019)

Slika 6: Zgornja plošča ohišja glasbila, (avtor Matic Juršnik), 18. 1. 2019.

Slika 7: Sestavni deli ohišja glasbila, (avtor Matic Juršnik), 18. 1. 2019.

Slika 8: 3D pogled glasbila iz dveh zornih kotov, (avtor Matic Juršnik), 18. 1. 2019.

Slika 9: Skica prostoročnega risanja zgornje plošče glasbila, (avtor Miha Golob), 11. 1. 2019.

Slika 10: Priprava cevi pred vgradnjo v zgornjo ploščo glasbila, (avtor Matic Juršnik), 18. 1. 2019.

Slika 11: Sestavljanje ohišja glasbila, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 19. 1. 2019.

Slika 12: Brušenje ohišja z el. ročnim tračnim brusilnim strojem, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 14. 2. 2019.

Slika 13: Vrtanje lukenj s kronskim svedrom, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 14. 1. 2019.

Slika 14: Prečni prerez in montaža cevi v notranjosti glasbila, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 14. 1. 2019.

Slika 15: Merjenje frekvenc pred končnim krajšanjem cevi, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 15. 2. 2019.

Slika 16: Vpenjanje rebrastih cevi, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 15. 2. 2019.

Slika 17: Pritrjevanje zadnje stranice glasbila, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 18. 2. 2019.

Slika 18: Pritrjevanje koles tubofona, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 19. 2. 2019.

Slika 19: Končani izdelek – zadnji del glasbila tubofon, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 25. 2. 2019.

Slika 20: Končani izdelek – prednji del glasbila tubofon, (avtorji Erik Červek Roškarič, Miha Golob, Matic Juršnik), 25. 2. 2019.

Slika 21: Improvizirane udarjalke, (avtor Miha Golob), 21. 1. 2019.

### **Viri logotipov android aplikacij:**

Logotip 1: *Super Piano Tuner*. Dostop:

<https://lh3.googleusercontent.com/nXKjiQ8roswXiWUFRwzKIEPH2FVOBbtIWZRzQvg1xJG-Jv-bEW0gnAexsRXi1H3bauc=s180>, 2. 2. 2019.

Logotip 2: *Audio Frequency Counter*. Dostop:

[https://lh3.ggpht.com/A3CIUG8fF9jOFmExR9d3lg0IQB\\_x6vAXYflrym9LSrvya4\\_Mg4sVK\\_ETdJa\\_5kNMkok=s180](https://lh3.ggpht.com/A3CIUG8fF9jOFmExR9d3lg0IQB_x6vAXYflrym9LSrvya4_Mg4sVK_ETdJa_5kNMkok=s180), 2. 2. 2019.

Logotip 3: *Frequency measurement tool*. Dostop:

[https://lh3.googleusercontent.com/CQpGuQqudoOeQxR-s8BQZyDEVPHikEni4mU75m7tj5r6n\\_Tim48SBB0Sf9JeNenuyrw=s180](https://lh3.googleusercontent.com/CQpGuQqudoOeQxR-s8BQZyDEVPHikEni4mU75m7tj5r6n_Tim48SBB0Sf9JeNenuyrw=s180), 2. 2. 2019.

Logotip 4: *Frequency Sound Generator*. Dostop:

[https://lh3.googleusercontent.com/4u1y7KO0RypwUp1sLrYhsmHDLI8npU9a81pwTSvOyHjFd87tbvtbTR55fIWe\\_5TzYal=s180](https://lh3.googleusercontent.com/4u1y7KO0RypwUp1sLrYhsmHDLI8npU9a81pwTSvOyHjFd87tbvtbTR55fIWe_5TzYal=s180), 2. 2. 2019.

Logotip 5: *Advanced Spectrum Analyzer PRO*. Dostop:

<https://lh3.ggpht.com/Yeeu9bbCaXfGQOsCHpEuOJQffwYJJo-yCUDhXHIavZN9SPcCbLkHveqZMBH2F66yYZt8=s180>, 2. 2. 2019.

Logotip 6: *Instrument Tuner*. Dostop:

<https://lh3.ggpht.com/tFn2KKwBIJ3sa9mdGWWCrt5qOV-fefGz2CsvtOXkQ0S9wR3UvBzRRGuM45Cc5vDqqK0=s180>, 2. 2. 2019.

Viri nakupov sestavnih delov:

1 Trgovina OBI, Ptuj

2 Trgovina Jager, Pragersko