

**Stredná priemyselná škola technická Trnava  
Komenského 1, 917 31 Trnava**

**Návrh a výroba zvona a zvonovej armatúry**

Trnava  
2024

Riešiteľ: Matúš Sedlák, Jakub Marcus  
Ročník štúdia : štvrtý

**Stredná priemyselná škola technická Trnava  
Komenského 1, 917 31 Trnava**

**Návrh a výroba zvona a zvonovej armatúry**

Trnava  
2024

Riešiteľ: Matúš Sedlák, Jakub Marcus  
Ročník štúdia : štvrtý  
Školiteľ: Ing. Elena Melicherčíková

## **Čestné vyhlásenie**

Vyhlasujeme, že prácu stredoškolskej odbornej činnosti na tému „Návrh a výroba zvona“ sme vypracovali samostatne, s použitím uvedených literárnych zdrojov.

Prácu sme neprihlásil a ani neprezentovali v žiadnej inej súťaži, ktorá je pod gestorstvom MŠMVVaŠ SR. Sme si vedomí dôsledkov, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

Podpis: .....

Podpis: .....

## **Pod'akovanie**

Chceli by sme sa pod'akovať nášmu školiteľovi, Ing. Elene Melicherčíkovej, za odborné rady, pomoc a konzultácie, ktorými ma usmerňovala. Taktiež smesrdečne chceli pod'akovať našim rodinám a priateľom za podporu a pochopenie.

V neposlednom rade patrí vďaka i zvonolejárovi Jakubovi Vorobeľovi, Dis. art. za ochotu a sprístupnenie dielne pre vykonanie projektu. Osobná vďaka patrí taktiež i Mgr. Jánovi Korekáčovi za preklad nápisov do latinčiny, spolužiakovi Jakubovi Pavelkovi za pomoc pri zhotovovaní kovaných častí a Dominikovi Malovrhovi, kampanológovi zo Slovinska, za pomoc s akustickou analýzou zvona.

# Obsah

|   |    |
|---|----|
| Úvod.....   | 5  |
| 1 Problematika a prehľad literatúry.....                                  | 6  |
| 1.1 Terminológia.....   | 6  |
| 1.2 Typy zvonov .....   | 7  |
| 1.2.1 Podľa materiálov .....  | 7  |
| 1.2.2 Podľa zvonového rebra .....   | 7  |
| 1.3 Typy materiálov zvonovej stolice .....                                | 7  |
| 1.4 Typy zvonovej hlavice .....   | 8  |
| 1.4.1 Podľa materiálu .....   | 8  |
| 1.4.2 Podľa osi .....   | 8  |
| 2 Ciele práce SOČ .....   | 9  |
| 3 Materiál a metodika.....  | 10 |
| 3.1 Návrh, výroba a odlievanie prvého zvona.....                          | 10 |
| 3.1.1 Návrh rebra zvona .....   | 10 |
| 3.1.2 Výroba formy zvona a odlievanie zvona.....                          | 11 |
| 3.2 Nezdary, nešťastia.....   | 13 |
| 3.3 Nový zvon .....   | 13 |
| 3.3.1 Návrh rebra nového zvona .....                                      | 13 |
| 3.3.2 Výroba formy zvona a odlievanie nového zvona.....                   | 14 |
| 3.4 Výroba zvonovej armatúry.....   | 15 |
| 3.4.1 Zhotovenie drevených častí zvonovej stolice a zvonového závesu..... | 15 |
| 3.4.2 Zhotovenie kovaných úchytočných častí armatúry.....                 | 16 |
| 3.4.3 Zvonové srdce .....   | 17 |
| 3.4.4 Finálne úpravy.....   | 17 |
| 3.4.5 Kompletovanie .....   | 17 |
| 4 Výsledky práce a diskusia .....   | 18 |
| 5 Závery práce .....  | 19 |
| 6 Zhrnutie .....  | 20 |
| 7 Zoznam použitej literatúry .....  | 21 |
| 8 Prílohy .....   | 22 |

## Úvod

V súčasnej dobe možno v Európe i vo svete nájsť viacero aktívne pôsobiacich zvonolejárskych dielní, ktoré ročne produkujú desiatky až stovky zvonov a zvonkohier. S dobou sa však mení aj typ umenia, surovín, materiálov a zjednodušuje sa spôsob vyhotovovania foriem zvonov. Práve túto skutočnosť možno vnímať ako faktor, ktorý v dnešnej dobe ovplyvňuje najmä ich kvalitu.

Témou našej práce je zvonolejárstvo, nakoľko nás to oslovilo ako takmer zabudnuté remeslo našich predkov. Tejto témy sa priamo dotýkajú i iné odvetvia - stolárstvo a kováčstvo. Kováčstvom, stolárstvom i zvonami samotnými sa už niekoľko rokov horlivo zaoberáme a fascinujú nás všetky aspekty týchto remesiel.

Keďže nás táto veľmi netradičná tematika zaujala, vybrali sme si ju pre našu prácu. Chceli sme tak dokázať, že u mladých ľudí i naďalej pretrváva vášeň i úcta k remeslám našich predkov.

# 1 Problematika a prehľad literatúry

## 1.1 Terminológia

**Zvony** sú nástrojom komunikácie už celé tisícročia. Oddávna oznamovali dôležité správy svojmu okoliu. Ich vznik podmienili najmä fyzikálne vlastnosti niektorých kovov a ich zliatín. Výrazný, doďaleka sa nesúci zvuk do seba narážajúcich, voľne zavesených kusov kovu našiel svoje uplatnenia v rôznych oblastiach ľudskej činnosti. Latinský názov zvona „campana“ je slovo, z ktorého odvodzujeme ďalšie podkategórie vedy zaoberajúcej sa zvonmi:

**Kampanológia** – je špecializovaný vedný odbor zaoberajúci sa zvonmi po všetkých stránkach – akustickej, výtvarnej, epigrafickej, či historickej.

**Zvonolejárstvo** – je vo všeobecnosti umelecko-remeselná činnosť zameriavajúca sa na návrh, výrobu a odlievanie zvonov. Pri zvonolejárstve sa uplatňujú špecifické výrobné postupy na rozdiel od tradičných hutníckych technologických postupov.

**Zvonová armatúra (sústava)** – je komplexná sústava technického vybavenia (armatúry) zvona zháňajúca jednotlivé časti potrebné k uchyteniu a rozoznaniu zvona.

Jedná sa o: **srdce, zvonovú hlavu (hlavicu), zvonovú stolicu a iné umelecké i úchytové prvky.**

**Zvonová stolica** – je priestorová nosná konštrukcia, zvyčajne situovaná na tzv. zvonovom poschodí. Zabezpečuje pevný základ ukotvenia zvonovej hlavy so zvonom a oddeľuje dynamické a vibračné sily vznikajúce počas zvonenia. Praxou, i kampanologickou literatúrou odporúčaný materiál, ktorý sa najlepšie osvedčil z hľadiska význevu zvona i tlmenia vibrácií je drevo.

**Zvonová hlava (hlavica)** – je nosná konštrukcia zabezpečujúca kyv zvona. Je osadená na dvojici ložísk v „poliach“ zvonovej stolice.

**Zvonové srdce** – je najviac namáhaná časť zvona slúžiaca k jeho rozoznaniu. Kampanologická teória definuje správny úder ako mäkký náraz čo najmenšej plochy najväčšej časti srdca (päste) do najhrubšej časti zvona (úderového venca). Nevhodne dopadajúce, či príliš tvrdé rany môže spôsobiť prasknutie, či deštrukciu telesa zvona.

## 1.2 Typy zvonov

### 1.2.1 Podľa materiálov

**Bronzové zvoný**– jedná sa o najrozšírenejší typ materiálu zvona, ktorého akustické výsledky patria k tým najlepším. Bronzové zvoný sú odlievané s prímiesou čistého cínu (väčšinou 22%), po ktorého pridaní nám vznikne materiál nazývaný „zvonovina“. Ten sa následne taví pri teplote (cca) 1200°C a odlieva sa do vopred pripravenej formy.

**Oceľové zvoný** - ich najväčšia produkcia vrcholiaca v prvej polovici 20. storočia, bola ovplyvnená najmä povojnovými časmi a nedostatkom farebných kovov. Práve tieto skutočnosti boli vhodným prostredím pre využitie nového – lacnejšieho materiálu pre odlievanie zvonov.

**Mosadzné zvoný**– sú vyrábané najmä pre menšie zvoničky (do 30kg), či ako darčkové predmety. Ich akustické vlastnosti totiž nedosahujú vyšších kvalít a pri väčších veľkostiach je komplikovanejšia ich výroba

### 1.2.2 Podľa zvonového rebra

**Zvonové rebro** – je profil steny zvona (pričný prierez), ktorý určuje jeho zvukové a hudobné vlastnosti. Je základom konštrukčného typu zvona a jeho vlastnosti sa menili v priebehu histórie. Každý zvonolejár disponoval vlastným typom zvonového rebra, ktoré na základe dopytu i skúseností v priebehu rokov mohol niekoľko krát pozmeniť, či kompletne prekresliť.

## 1.3 Typy materiálov zvonovej stolice

**Oceľová** – armatúra zhotovená prevažne z ocele zhotovovaná najmä na úkor financií a času. Oceľové zvonové armatúry boli populárne najmä v povojnovom období v prvej polovici 20. storočia, kedy zvonolejársky priemysel potreboval lacné a časovo nenáročné riešenie uchytenia zvonov. Časti samotnej armatúry boli spočiatku odlievané a spájané nitmi alebo skrutkami. Postupom času sa však prešlo na modernejšiu metódu – zváranie, ktoré sa využíva v súčasnosti. Dnes však vieme že tento typ armatúry nie je vhodný z akustickej ani rezonančnej stránky.



**Drevená** –tradičný typ armatúry osvedčený časom i praxou. Jedná sa o príslušenstvo zhotovované prevažne z dubového alebo iných tvrdých typov dreva, ktorý kladne vplyva na akustický charakter zvonov a tlmí dynamické sily vzniknuté počas zvonenia. Tento typ príslušenstva možno nájsť i pri najstarších dochovaných zvonov z prvej polovice 10. storočia.

## **1.4 Typy zvonovej hlavice**

### **1.4.1 Podľa materiálu**

**Drevená** – tradičná drevená hlava, ktorej priaznivé vlastnosti dovoľujú plnému akustickému rozvinu zvona

**Oceľová (liatinová)** – lacnejšia náhrada drevenej zvonovej hlavice, zväčša vyrábaná v prvej polovici 20. storočia (1. svetová vojna až súčasnosť)

### **1.4.2 Podľa osi**

**Rovná** – najvhodnejší typ hlavice z hľadiska namáhanie koruny zvony, ktorá je situovaná v rovine alebo pod rovinou ložísk hlavice

**Lomená** – typ možnosti zavesenia, ktorý bol vynájdený Jozefom Pozdechom z Hrnčiaroviec nad Parnou v druhej polovici 18. storočia. „Pozdechovský patent“ – bol názov uchytenia zvona, pri ktorom je os kyvu zvona vyvýšená nad ložiská hlavice. Tento spôsob zavesenia môže negatívne pôsobiť na samotnú korunu zvona - jeho ideálne využitie je možné v prípade narušenej statiky veže alebo predimenzovaného zvona na veľkosť veže. V súčasnosti je však inštalovaný ako lacná náhrada rovného závesu, pri ktorom je značne komplikovanejšie uviesť zvona pomocou pohonu do ideálneho chodu.

## 2 Ciele práce SOČ

Naším primárnym cieľom bolo zhotovenie zvona sladením **gis**<sup>3</sup> pomocou tradičnej stredovekej technológie s dôrazom na precízne zhotovenie výzdoby a formy.

Budeme dbať na to, aby zvon ako odliatok nebol nijako výrazne sekundárne upravovaný, aby jeho príslušenstvo bolo zhotovené podľa odborných kampanologických predpisov. Chceli by sme taktiež dosiahnuť, aby žiaden z pracovných procesov nebol nijako zjednodušený ako po pracovnej, tak i finančnej stránke.

Ďalším cieľom bude zhotoviť zvonovú armatúru pozostávajúcu z dreveného zvonového závesu s kovanými úchytovými prvkami, drevenej zvonovej stolice a mäkkého i odporčne správneho zvonového srdca.

### 3 Materiál a metodika

#### 3.1 Návrh, výroba a odlievanie prvého zvona

##### 3.1.1 Návrh rebra zvona

Prvotná myšlienka odliatia bronzového zvona vznikla ešte koncom roka 2022. Vtedy bolo naším cieľom zhotovenie návrhu rebra (tvaru) zvona podľa raritného zvonolejárskeho majstra Jána Mračka zo Slovenskej Ľupče. Jeho zvony sa vyznačujú charakteristicky „plným“ zvukom a krásnou výzdobou, ktorá sa často niesla v duchu slovenskej prírody, kultúry a tradícií. Istým paradoxom tohto zvonolejára je, že odlieval buď zvony akusticky veľmi zdarené (viď. Evanjelická zvonica v Banskej Štiavnici) alebo práve naopak – posmešne nazývané „hrnce“, ktoré sú presným opakom správneho význevu zvona.

O čo viac raritné boli jeho zvony, o to viac nás lákalo rozlúsknuť tajomstvo jeho výroby. Jednou z myšlienok bol taktiež mierne vylepšenie „mračkovho rebra“, aby sa do budúcnosti predišlo akusticky nelahodiacim zvonom.

V našom návrhu sme vyhľadali vo vyššie spomenutom profile zvonolejárskeho majstra Jána Mračka zo Slovenskej Ľupče. Rebro zvona sme sa snažili 1:1 na základe našich meraní prekresliť. Následne boli z nášho výskumu zistené nedostatky jednotlivých alikvotných tónov, v ktorých sme hrúbku steny zvona zosilnili a tým sme vznik ich rezonancie zásadne podporili. Takto upravené „mračkove“ sme následne prekreslili do programu Solidworks, kde sme vytvorili digitálne nákresy pre budúce šablóny. Pre pokus sme zhotovili šablóny pre zvony dvoch rôznych veľkostí:

- menší s priemerom 220 mm a odhadovanou hmotnosťou 8,5 kg
- väčší s priemerom 300 mm a odhadovanou hmotnosťou 21 kg

Pri výpočte hmotnosti sme vychádzali zo základného kampanologického vzorca:

$$d^3_{[m]} \times K \text{ (konštanta)}$$

V našom prípade sme konštantu vyrozumeli ako, číslo 800, keďže sa jedná o zvon v extrémne ťažkom – hrubom rebre. Keď boli všetky parametre dôkladne premerané, dali sme laserom vypáliť šablóny z nerezu potrebné pre ďalšiu etapu - výrobu hlinenej formy.

### 3.1.2 Výroba formy zvona a odlievanie zvona

Po vypálení sme si prichystali prvú časť nerezovej šablóny na pripevnenie k formovému stolcu. Táto časť nám bude formovať prvý diel trojdielnej hlinenej tradičnej formy. Nakoľko sme vychádzali z historických údajov a technológií, zloženie materiálu jadrovej hliny pozostávalo z hliny, konských vlasov, prímiesi piesku, otrúb, slamy a vody v špeciálnych pomeroch. Následne boli tieto materiály zmiešané pomocou vrtačky s lopatkovou miešacou tyčou na pomalej rýchlosti.

Miešací proces sme realizovali asi po dobu cca 20 minút dokedy sme nedosiahli správnej farby a konzistencie. Vyššie spomenuté prísady boli do zmesi pridávané postupne – podobne ako pri varení.

Popri miešaní sme prichystanú časť šablóny pomocou skrutiek a dreva zaistili do vodorovnej polohy. Pripravili sme si aj oceľovú stredovú tyč, na ktorej budeme zhotovovať jadro samotného zvona.

Ďalšou časťou metodiky bolo postupné nanášanie hliny na oceľový hriadeľ. Hlinu sme následne nechali vyschnúť nad ohňom, ktorý sme udržiavali pod formovým stolcom. Aby sa nám v budúcnosti pri schnutí jadro nerozpadlo, mohli sme na tyč nanášať iba malé časti hliny. Snažili sme sa pritom vytvoriť akýsi vzorec, do ktorého sme hlinu nanášali tak, aby držala aj sama na sebe a neskĺzla do ohňa. Čím dlhšie sme proces nanášania a schnutia opakovali, tým viac sa hlina rozohrialala a proces schnutia sa urýchlil.

Metódu nanášania hliny sme opakovali dokým sme nedostali perfektný obrys šablóny. Súdržnosť materiálu sme taktiež docielili prímiesami iných špeciálnych prímiesí, ktoré sú však istým zvonolejárskym tajomstvom. Dokonalé obrysy pri samotnom závere zhotovovania jadra sme dosiahli jemnejšími zmesami formového materiálu, ktoré sme nanášali veľmi citlivými pohybmi.

V peci pod formovým stolcom sme udržiavali stály oheň so stredne veľkými plameňmi, aby ich prílišná prudkosť formovú hlinu nepopraskala. Celý proces zhotovovania zabraľal asi 8 hodín, pričom sme ho vykonávali aj do 3:00 do rána, kvôli vhodnej teplote jadra.

Druhou časťou výrobného procesu bolo zhotovenie tzv. falošného zvona. Jedná sa o stredovú časť formy vytvárajúcu presnú predlohu pre budúci zvon. Je preto potrebné byť pri tejto časti čo najpresnejší a najdetailnejší, keďže každý kaz falošného zvona sa odzrkadlí na finálnom odliatku.

Výrobu „falošného zvona“ sme započali náterom jadra zvona kontaktnou vrstvou, aby sme tieto dve časti vedeli od seba v ďalších etapách oddeliť. Ďalším krokom výroby bolo opäť postupné nanášanie formového materiálu. Teraz sa však jednalo o jeho „chudobnejšiu“ verziu, ktorá bola na rozdiel od tej predošlej omnoho redšia. Mnohé pridávané prvky boli totiž prvotne presievané cez sito, aby sme dosiahli čo najväčšej jemnosti a presnosti. Počas schnutia prvých vrstiev sme vymenili prvý dielec nerezovej šablóny vymenili za druhý, kopírujúci presný vonkajší tvar zvona. Celý proces sme opakovali približne ďalšie 4 hodiny. Po hodinách opakujúcej sa práce sme dosiahli vcelku uspokojujúci výsledok. Ďalším krokom bolo vyhotovenie nápisov a výzdoby. Predtým sme však pre dosiahnutie krajšieho povrchu ešte celý hlinený falošný zvon potreli voskom. Naň je totiž omnoho lepšie upevniť budúcu voskovú výzdobu a zároveň i skrášli povrch budúceho zvona.

Po dôkladnom pretretí voskom začala etapa zhotovovania ornamentiky a nápisov zvona. Tú sme zhotovovali z vosku, ktorý sme nahriali na teplotu cca 120°C a z príslušnej vzdialenosti sme ho nalievali tak, aby sa vosk dostal do každej časti gumenej formičky. Ornamentiku sme po vychladnutí vytiahli z foriem a zbavili (orezali) ju prebytočných voskových častí.

Ústrednou tematikou menšieho zvona bola technika – resp. umelecká ornamentika spojená so študijnými odbormi našej školy. Nápis na zvon sme zhotovovali rovnakým spôsobom. Po odliatí potrebných nápisov, ornamentiky a ich orezaní od vád sme sa pustili do umiestňovania výzdoby na samotné teleso falošného zvona. Tomu sme stihli počas chladnutia vytiahnuť stredovú tyč a umiestniť ho na drevený podstavec.

Celý proces zhotovovania nápisov a výzdoby možno po našej skúsenosti zhodnotiť ako najviac fyzicky i psychicky vyčerpávajúci. Trvalo to približne 2 dni kompletne zhotoviť celý nápis nehovoriac o jeho umiestňovaní na zvon.

Po dokončení falošného zvona sme na jeho teleso začali nanášať vrstvy jemnej zmesi hlíny. Nakoľko sme nemohli použiť oheň, keďže by sa nám ornamentika roztopila,

museli sme nechať schnúť vosk „prírodne“. Proces nanášania hlíny sme teda opakovali ešte asi 2 týždne kým sa nám nevytvorila posledná časť. Po jej zhotovení sme formu rozobrali a vybrali sme z nej falošný zvon. Ostalo nám tak jadro zvona a vrchná časť, medzi ktorými vznikla dutina na odlíatie zvona s ornamentikou otlačenou v negatíve. Následne sme formu nad ohňom ešte 2 dni vypaľovali, aby sme odstránili všetky prebytočné voskové časti. Po vypálení a odležaní formy sme ju zahrabali do zeme a odliali ju 19. augusta 2023 na remeselnom festivale v Trebišove ako demonštráciu pre ľudí. Zvonovinu, ktorú sme vytvorili stavením bronzu a cínu v pomere 78:22 sme v roztavili v koksovej peci na teplotu 1200°C. Následne sme materiál odkysličili pomocou dreva, zbavili ho prebytočných nečistôt a opatrne naliali do formy. Po niekoľkých dňoch chladnutia sme zvon vybrali z formy.

### **3.2 Nezdary, nešťastia**

Po vyňatí nášho „školského“ zvona nás však čakalo nepríjemné prekvapenie. Hoci zvon po vizuálnej časti nevykazoval žiadne chyby, po akustickej stránke tomu bolo celkom inak. Dodnes nám nie je známe prečo, avšak zvuk menšieho zvona bol veľmi tlmený a silno prerážal dvoma alikvótnymi tónmi. Väčší zvon na tom bohužiaľ nebol o nič lepšie.

Začali sme preto s výrobou nových zvonov, pričom sme mierne upravili niektoré výrobné postupy formy. To čo nás však neskôr zastihlo neočakával nik. Dňa 9.10.2023 zastihlo Slovensko zemetrasenie, ktoré naše rozrobené formy fatálne zničilo. Ostali po nich iba na kúsky roztrieštené časti. Cítili sme sa frustrované, nahnevano a opadla z nás všetka chuť pokračovať vo výrobe ďalšej formy a navyše úplne od začiatkov.

Neskôr sme to však brali ako akési „znamenie“ vyššej moci, ktorá nás chcela vyvarovať od nezdaru a naše všetky doterajšie plány a skice sme kompletne prerobili na úplne nové.

### **3.3 Nový zvon**

#### **3.3.1 Návrh rebra nového zvona**

Tentokrát sme vychádzali z tvaru a akustických vlastností zvonov zvonolejára Alexandra Buchnera z obdobia jeho zvonolejárskej činnosti v Prešove, kedy používal o čosi ľahší zvonový profil ako zvonolejár Ján Mračko (podľa ktorého sme vychádzali

pri predošlom zvone). Tento profil i jeho akustické vlastnosti taktiež možno prirovnať ku zvonom východného Francúzska, a preto sme ho pomenovali „francúzsky profil“.

Podobne ako i pri predošlom zvone sme si elektronicky navrhli jeho skicu a nechali vypáliť jednotlivé šablóny do nerezovej oceli.

### **3.3.2 Výroba formy zvona a odlievanie nového zvona**

Metodiku výroby formy zvona sme realizovali prakticky rovnako ako pri predošlom zvone. Materiálu, z ktorého sme zhotovovali jadro sme jemne upravili receptúru a vsadili sme na kvalitnejšie suroviny vo väčšom množstve. Celkovo sme k výrobe jadra zvona spotrebovali cca 10 kilogramov formovej zmesi. Vyrábanie jadra nám zabralo približne 6 hodín pričom sme pracovali až do úplnej noci.

Na druhý deň sme nezháľali a pustili sme sa do výroby falošného zvona. Inštalovali sme teda druhú časť šablóny na formový stolec a pokračovali sme nanášaním hlinených častí na teleso zvona. Nezabudli sme ani na kontaktné vrstvy. Podobne ako i pri jadre zvona bola zvolená kvalita menšieho množstva surovín nad kvantitou nekvalitnejších.. Po približne 4 hodinách sme mali hotovú hlinenú podobu falošného zvona, ktorú sme potreli voskom.

Opäť nás čakala zdĺhavá etapa výroby nápisov a ornamentiky. Aby sme dodržali autenticnosť predošlej tematiky, zvolili sme na výzdobu ozubené kolesá rôznych tvarov a veľkostí. Snažili sme sa taktiež o to, aby samotný ozubený mechanizmus vyobrazený vo výzdobe dával logický zmysel. Od predošlého zvona sme výzdobu ešte obohatili o plastický reliéf svätého Cyrila a Metoda, Slovenský znak a Trnavský erb. Po dokončení výzdoby opätovne nasledovala fáza výroby poslednej časti formy.

Výroba poslednej hlinenej časti formy trvala z celého procesu najdlhšie, keďže sme nechceli všetko naše úsilie zmarit' v poslednej fáze. Dávali sme preto veľký pozor na to, aby bol každý detail precízne otláčený vo forme. Po niekoľkých týždňoch formovania sme konečne dosiahli požadovanej hrúbky formy. Opätovne sme formu rozobrali, vybrali z nej „falošný zvon“ a spojili jadro s vrchom, pričom v strede vznikol priestor pre naliatie kovu. Mysleli sme taktiež i na správny tok materiálu a na korune zvona sme urobili vzduchové výduchy.

Keď sme si boli dosiahnutým výsledkom istí, začali sme taviť materiál. Tentokrát sme tavenie mali o čosi rýchlejšie zvládnuté nakoľko sa odohrávalo priamo vo

zvonolejárskej dielni. Rovnaké pomery materiálov (78% bronzu ku 22% cínu) sme roztavili v taviacom grafitovom tégliku na teplotu asi 1200°C. Následne sme zvonovinu odkysličili, vytiahli taviaci téglik z pece a mohlo sa začať s odlievaním. Paradoxne samotné odlievanie je najkratšou no najdôležitejšou časťou výroby zvona. I minimálne faktory totiž môžu ovplyvniť jeho finálny zvuk, podobne ako i predošlom prípade. Prúd liatia musí byť ustálený – plynulý a tok nesmieme prerušiť.

Po niekoľkých dňoch chladnutia sme sa nadšene pustili vyhrabávať odliatok zo zeme. Našťastie sa všetko podarilo ako sme plánovali a zvon vyzeral parádne. Očistili sme ho od častíc hliny a po náročnom dni sme ho pri západe slnka po prvýkrát rozoznali.

### **3.4 Výroba zvonovej armatúry**

#### **3.4.1 Zhotovenie drevených častí zvonovej stolice a zvonového závesu**

- **Návrh a voľba materiálu**

Ako predlohu sme si zhotovili nákres v programe tinkercad, z ktorého sme pokračovali v ďalšej výrobe.

- **Dubové drevo**

Praxou i odbornou literatúrou odporúčaným materiálom, ktoré sme pre zhotovenie armatúry zvolili i my. Osobitnou vlastnosťou dubového dreva je vzhľadom na trvanlivosť aj jeho reakcia na vlhkosť a vodu. Dubové drevo výborne odoláva striedaniu vlhka a sucha. Vďaka za to uzatvorenej štruktúre buniek. Svedčí o tom aj fakt, že kedysi boli vlastnosti dubu naplno využívané a dodnes je svojou kvalitou žiadaný nie len v interiérovom nábytkárstve.

- **Rezanie dubového dreva**

Kmene dubového dreva sme zohnali od firmy zaoberajúcej sa ťažbou dreva. Ďalším krokom bolo narezanie častí dreva na požadovanú dĺžku a tvar - šírku 100mm, výšku 100 mm a dĺžku 2000 mm. Hranoly mali vlhkosť dreva 30%, a preto ich bolo treba dať do sušičky.

- **Umelé sušenie**

Narezaný materiál sme vložili do kondenzačnej sušičky dreva, ktorá využíva koncept prirodzeného prúdenia vzduchu zohriateho na teplotu 40 až 50 °C. Oproti prirodzenému sušeniu je jej výhodou rýchlosť, spoľahlivosť a presnosť želanej výslednej vlhkosti. Po



vytiahnutí zo sušičky malo drevo vlhkosť približne medzi 10-15%, čo je ideálne pre dubové rezivo a prácu s ním. Postup výroby zvonovej stolice

- **Hobl'ovanie**

Hobl'ovanie je proces opracovania dreva, ktorým je možné dosiahnuť hladkého a rovného povrchu. Pri hobl'ovaní sme odobrali z dreva z každej strany približne 10 mm, čím nám vznikli hranoly s rozmermi 80x80 mm.

- **Čapovanie hranolov**

Pri zhotovovaní čapov si vystačíme tiež s rezaním a následným dopracovaním rašpl'ou, ktoré môžeme kombinovať so štiepaním pozdĺž vlákien pomocou dláta. Pri zhotovení dlabov, ako už napovedá názov, sa nezaobídeme bez dlabania pomocou dláta.

- **Spoj vrutom**

Slúži na spájanie dvoch drevených hranolov alebo na spoj medzi plošným materiálom (OSB dosky, preglejky...) a dreveným hranolom. Pohon vrutov je na torx, čo je špecializovaný druh hlavy skrutky. Všetky vruty majú na tele frézku a telo opatrené klzným lakom. Konštrukcia vrutu zabezpečuje rýchlu, pohodlnú a presnú montáž. a zápusťná hlava zabezpečí totožnú úroveň zapustenia s povrchom dreva.

Pre spoj vrutov sme si najskôr predvrtali dieru, o pár mm širšiu ako hlavička vrutu, do hĺbky cca 20 mm. Potom, ako som vrutom spojil hranoly, sme do predvrtaných dier vložili drevený kolík, ktorý sme zalepili a neskôr vybrúsili.

- **Tmelenie**

Tmelom na drevo sme vyplnili všetky nerovnosti, neželané otvory a diery v dreve.

### **3.4.2 Zhotovenie kovaných úchytových častí armatúry**

- **Kovanie**

Po zhotovení drevenej časti závesu prišlo na rad kovanie a zváranie. Na kovanie sme použili koštrukčnú oceľ, ktorú sme zahriali na požadovanú teplotu pre následné tvarovanie. Následne sme nahriatú koštrukčnú oceľ vykuli (vytvarovali) do potrebných tvarov a veľkostí.

- **Zváranie**

Pomocou oblúkového zvaru sme zvarili úchyty na nosné hriadele.

- **Rezanie závitov**

Pri výrobe úchytoých skôb na zvon sme použili i proces rezania závitov pomocou vrátidla závitového očka a závitníkov. Použili sme závity typu: M12, M14 a M16

### **3.4.3 Zvonové srdce**

Výrobu zvonového srdca sme realizovali pomocou CNC sútruhy. Vopred zhotovený návrh v programe Solidworks sme následne previedli do nástroja spolužiaka Švastu, ktorý nám srdce vysústružil. Dbali samé na správnu proporčnosť, rovnako ako i na správny tvar a tvrdosť samotného srdca. Vysústružené srdce sme následne upravili pomocou brunírovania – povrchového oxidačného náteru

### **3.4.4 Finálne úpravy**

- **Brúsenie**

Pri oceli bolo potrebnébrúsiť o čosi viac ako pri dreve, ktoré bolo predtým hobľované. Drevo som iba jemne obrúsil, aby sme zvýraznil kresbu vlákien a odstránil zvyšky tmelu.

- **Lakovanie**

Pre lepší vzhľad a dlhšiu trvanlivosť dreva sme sa rozhodli zvonovú stolicu a úchyt zvonu natrieť lakom na drevo. Lakovanie dreva je veľmi dôležitá povrchová úprava, ktorá slúži na ochranu dreva a farby pred vonkajšími vplyvmi. Lak dodáva farbe dreva tmavší odtieň a lesk a celkový vzhľad tak pôsobí omnoho krajšie a luxusnejšie.

### **3.4.5 Kompletovanie**

Po dokončení všetkých finálnych úprav sme konštrukciu i s kovaniami zložili a osadili do jedného celku.

## 4 Výsledky práce a diskusia

Výsledkom návrhu nášho druhého zvona bola vytvorená „vylepšená verzia“ populárneho zvonového rebra od zvonolejára Alexandra Buchnera. Alikvótne tóny zvona nám taktiež zadávajú jeho charakteristický význevový kontext, a preto možno pomenovať zvuku tohto zvona unikátnym.

Tvar zvona sa taktiež tešil obľube majstra zvonolejára natoľko, že do budúcnosti je plánované skúšobné odliatie jeho väčšej podoby a prípadné uvedenie do produkcie. I toto možno nazvať prínosom do nášho zvonolejárskeho fondu na Slovensku, keďže vytváranie a experimentovanie s tvarmi zvona je v dnešnej konzumnej spoločnosti vcelku raritné.

Môžeme teda skonštatovať, že sme autormi a zároveň i svedkami vzniku jedného z možných nových zvonových profilov, ktoré onedlho uvidíme v slovenských vežiach a zvoniciach. Náš tvar zvona je totiž na svoju pomerne ľahkú hmotnosť veľmi zvučný.

Cena a spotreba bronzu by teda pri odlievaní väčších zvonov na pomer ich tónu bola veľmi priaznivá. Nehovoriac o menšej spotrebe uhlia a amortizácie taviaceho telesa.

Naša práca tak tvorí krásny umelecko-akustický a zároveň i historicko-kampanologický príklad správnej metodiky odlievania i zavesenia zvona. Keďže môžeme povedať, že zvon ako hudobný nástroj, podobne ako i ostatné hudobné nástroje, potrebuje priaznivé okolnosti k jeho správne akustickému výstupu.

Veríme, že naša práca poslúži ako príkladná ukážka správneho zachovania dedičstva našich otcov a zároveň inšpiruje a povzbudí ďalšie generácie nájdených zvonárov a zvonolejárov.

Sme z celého srdca vďačný za to, že sme mohli nabráť toľké skúsenosti a zároveň si vyskúšať roky školskej teórie v praxi.

## 5 Závěry práce

Našou pracou sme dokázali, že i v „domácich“ podmienkach možno navrhnuť a zhotoviť bronzový zvon s kvalitným akustickým výstupom, podobne ako i jeho príslušenstvo. Je preukázateľné, že kvalita výsledných produktov – zvona, zvonovej stolice, hlavice a srdca, závisí nielen na precíznosti našej akusticko-umelecko-historickej práce ale najmä od vytrvalosti a odhodlania popasovať sa s náročnými chvíľami nezdaru a neúspechu.

Pri práci sme sa totiž naučili, že remeslá našich otcov boli nielen ťažko fyzicky ale i psychicky veľmi vyčerpávajúce. Precíznosť a výzdobu starších, najmä barokových zvonov, či komplexnosť historických armatúr v súčasnosti obdivujeme iba s otvorenými ústami.

Zároveň sa jedná i o demonštráciu a zachovanie tohto nádherného hoci náročného remesla a dedičstva našich predkov, ktoré sme si mali možnosť na vlastnú kožu vyskúšať.

Celý proces nás okrem obdivu našich predkov naučil i trpezlivosti a skutočnosti, že nie vždy všetko vyjde tak ako sme si predstavovali. Taktiež nás naučil i to, že sa nemáme za žiadnu cenu vzdávať svojich vízií a ísť si za vysneným cieľom.

## 6 Zhrnutie

Výsledkom našej niekoľkomesačnej práce je **17kg** vážiaci bronzový zvon znejúci v tónine **Gis/As<sup>3</sup>**, osadený v kampanologicky správnej armatúre..

Zvon má šesťramennú-kráľovskú korunu s maskarónmi v podobe levích hláv, ktorej celkové rozmery sú 70x145 mm. Je prichytená na rovnom drevenom zvonovom závесе pomocou štvoriceúchytoých skôb s ozdobnými kovaniami.

Plasticky vyvýšená podkorunná doska zvona má priemer 100 mm a nižšie umiestnený príklop zvona má priemer 150 mm. Na čelnej strane príklopu nájdeme plastické vyobrazenie anjelskej hlavy s krídlami s celkovými rozmermi 15x20 mm. Na náprotivnej strane príklopu zvona nájdeme situované výrobné číslo zvona: **no. 2**.

Krk zvona na sebe nesie dookola obiehajúcu ornamentálnu plastickú výzdobu, ktorej ústredným motívom je reťazec logicky osadených rôznych druhov ozubených kolies, pričom najväčšie má priemer 55 mm a najmenšie 20 mm.

Driek zvona na sebe nesie štvorriadkový nápis: **SPŠ / technická / Trnava / 1951**

Náprotivná strana drieku zvona je zdobená 129 mm vysokým a 81 mm širokým plastickým vyobrazením slovanských patrónov Európy – sv. Cyrila a Metoda. Ďalším prvkom situovaným na drieku zvona jest erb mesta Trnava s rozmermi 47x47 mm, nad ktorými sa nachádza 25 mm vysoká a 32 m široká plastická koruna. Nemožno opomenúť na náprotivnej strane situovaný erb Slovenska s jeho celkovými rozmermi 46x39 mm.

Úderový veniec zvona na sebe nesie dookola obiehajúci signujúco-datujúci ozdobný nápis v latinskom znení:

**Fuditme M. Sedlák in officina J. Vorobel' in Hocsá A. D. MMXXIII.**

Preklad: Odľial ma Matúš Sedlák v dielni Jakuba Vorobeľa v Chotči, roku Pána 2023.

Nápis je na konci a začiatku ohradený 17 mm vysokou a 90 mm širokou páskou vystredenou pod reliéfom sv. Cyrila a Metoda. V nej nájdeme situovaný nápis v starosloviencine - určujúci patrocínium zvona (**SV. METODIJ SV. KIRILL**).

Zvon má lietajúce guľaté srdce s tvrdosťou 130HB a je osadený v jednopolovej drevenej zvonovej stolici s ozdobnými kovaniami.

## 7 Zoznam použitej literatúry

[1] LUNGA Radek, Solař Jaroslav. 2010. KOSTELNÍ VĚŽE A ZVONICE, GradaPublishinga.s., Praha 7, 2010, ISBN 978-80-247-1236-9, str. 14.,21.,22.,23.

[2] TOČKA Imrich, Fehér Alexander. 2017. ZVONY PODZOBORIA, Tlačiareň Michelangelo v Nitre, Nitra, 2017, ISBN 978-80-972596-8-6, str. 8.,10.

- **Respondenti:**

Jakub Vorobeľ, Dis. art. – zvonolejárska a odborná výpomoc

Dominik Malovrh – kampanologická výpomoc

Mgr. Ján Korekáč – preklady latinských nápisov

## **8 Prílohy**

Príloha A - Ukážka akustického spektra zvona použitím programu Wavanal

Príloha B - Zvon osadený v drevenej armatúre

Príloha C - Detail na krk a korunu zvona

Príloha D - Plastické vyobrazenie sv. Cyrila a Metoda, erbu mesta Trnava

Príloha E - Kompletná zvonová sústava

Príloha F – Návrhy zvonového rebra

Príloha G – Výroba zvonového jadra

Príloha H – Výroba a lepenie ornamentiky

Príloha I – Tavenie zvonoviny a odlievanie zvona

Príloha J – Návrh zvonovej armatúry

Príloha K – Opracovanie dubového dreva

Príloha L – Úprava hranolov

Príloha M – Spájanie hranolov

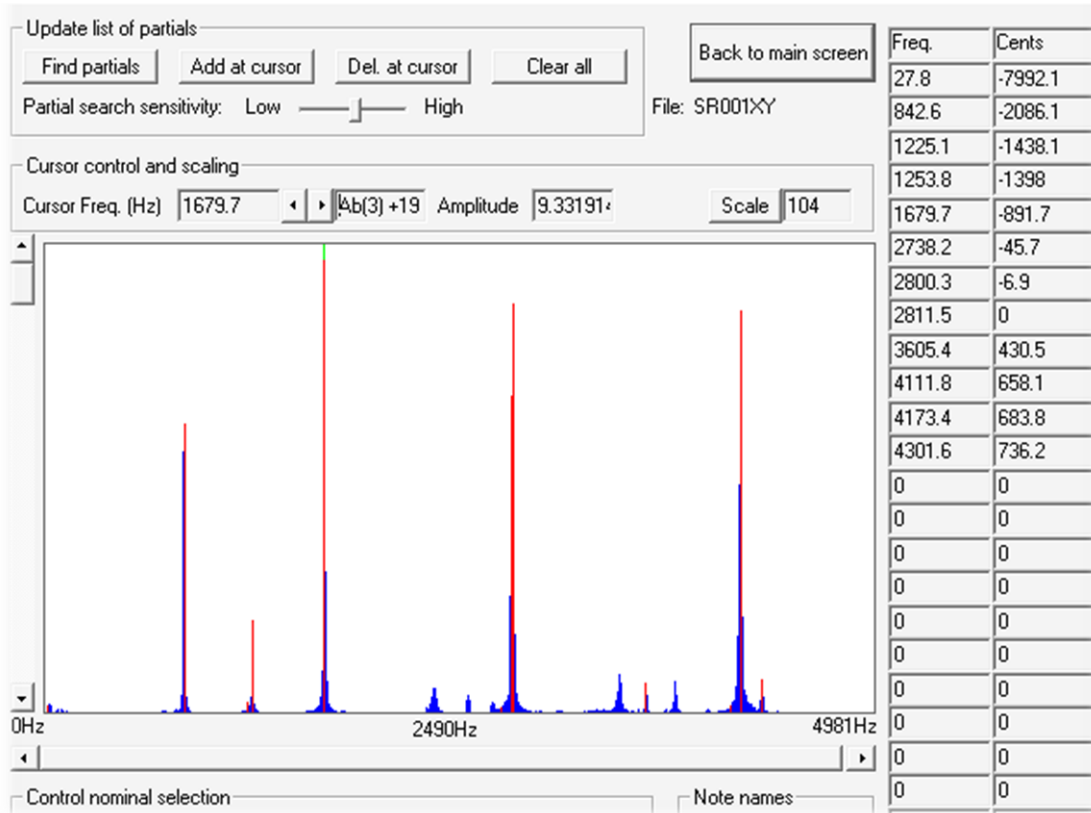
Príloha N – Výroba zvonového závesu s kovami

Príloha O – Sústruženie zvonového srdca

Príloha P – Autori s projektom

## Príloha A - Ukážka akustického spektra zvona použitím programu Wavanal

transforms and partials selection





Príloha B - Zvon osadený v drevenej armatúre



Príloha C - Detail na krk a korunu zvona



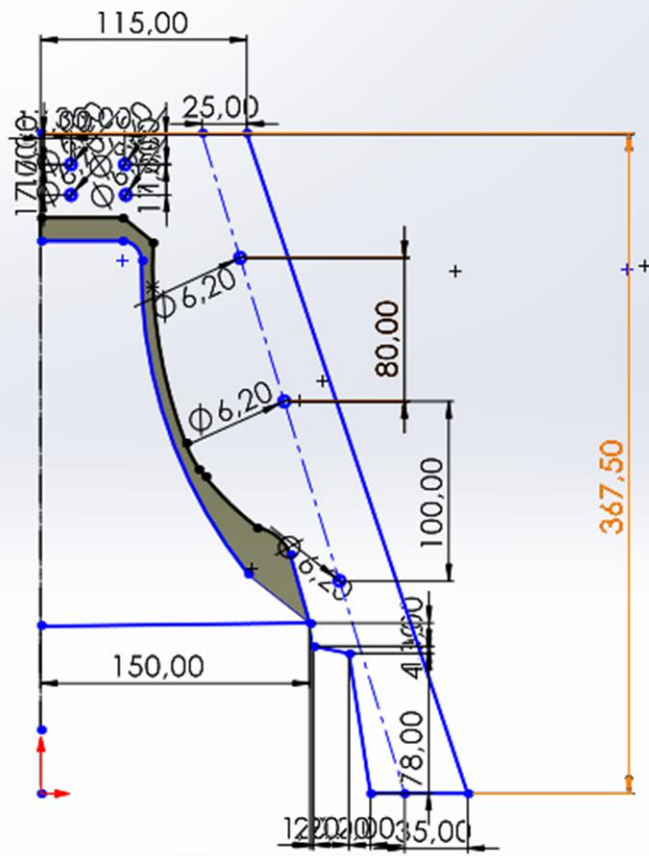
Príloha D - Plastické vyobrazenie sv. Cyrila a Metoda a erbu mesta Trnava



Príloha E - Kompletná zvonová sústava



Príloha F – Návrhy zvonového rebra



Príloha G – Výroba zvonového jadra



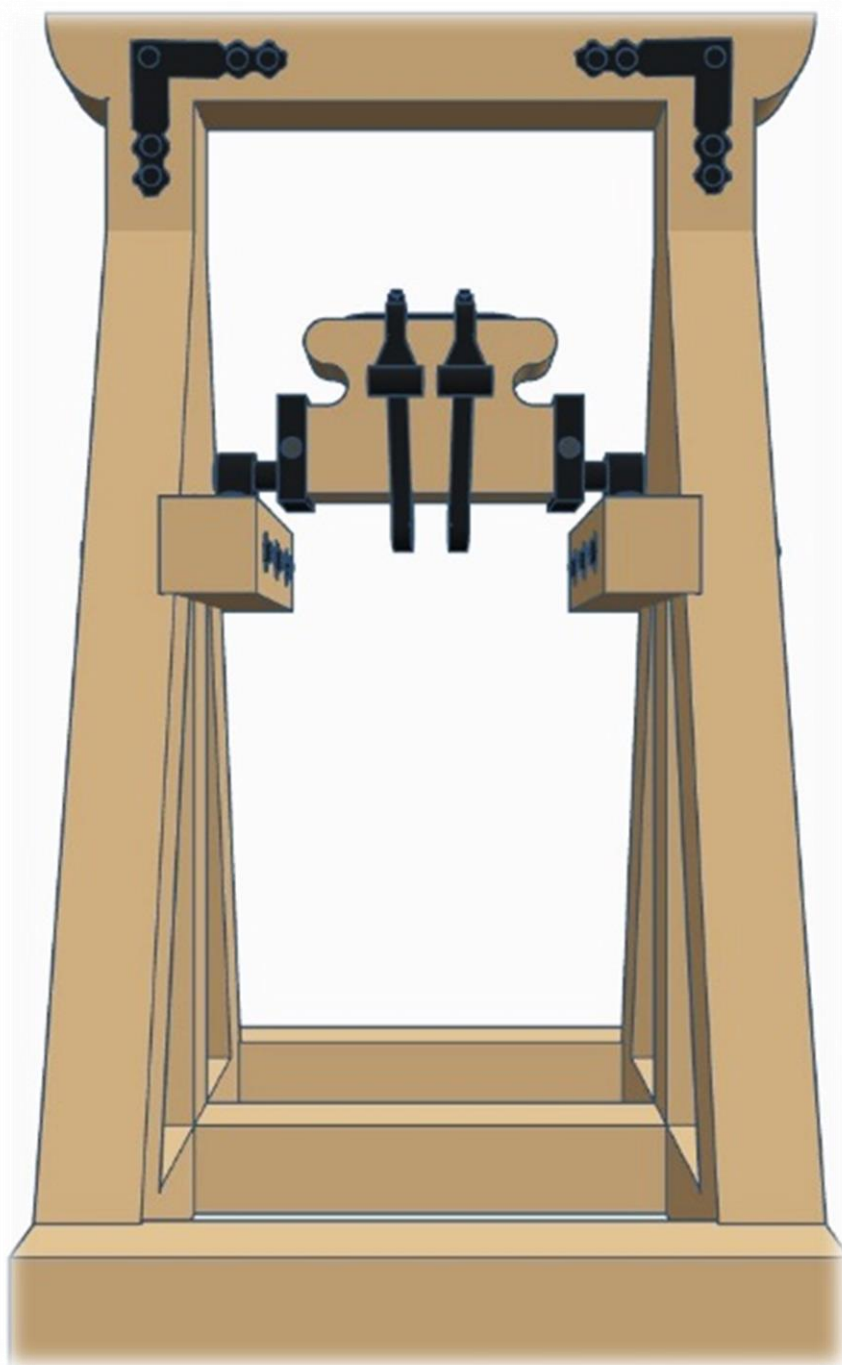
Príloha H – Výroba a lepenie ornamentiky



Príloha I – Tavenie zvonoviny a odlievanie zvona



Príloha J – Návrh zvonovej armatúry





Príloha K – Opracovanie dubového dreva



Príloha L – Úprava hranolov



Príloha M – Spájanie hranolov



Príloha N – Výroba zvonového závesu s kovami



Príloha O – Sústruženie zvonového srdca



Príloha P – Autori s projektom

