



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH A KONSTRUKCE SNÍMACÍ ČÁSTI CIMBALONU

DESIGN AND CONSTRUCTION OF SENSING PART OF THE CIMBALON

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Patrik Nop

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Audio inženýrství**
Ústav telekomunikací

Student: Patrik Nop

ID: 162421

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a konstrukce snímací části cimbalonu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a ověřte možnosti snímání strun, případně virtuálních strun pro elektronický hudební nástroj, tzv. cimbalon. Vyzkoušejte, zda je účelnější použít tzv. pady, laser, anebo mechanické struny se snímači a zvažte konstrukci také z hlediska hmotnosti, rozměrů a snadné sestavitelnosti nástroje.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GEIST, B. Akustika - jevy a souvislosti v hudební teorii a praxi. Praha: MUZIKUS s.r.o., 2005. ISBN 978-8086253312.

[2] SYROVÝ, V. Hudební akustika. Praha: AMU, 2003. ISBN 978-80-7331-127-8.

[3] RUSS, M. Sound Synthesis and Sampling. Focal Press, 1996. ISBN 0-240-51429-7

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Návrh a konstrukce snímací části cimbalonu*“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

Podpis autora

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na návrh několika možných způsobů provedení snímání strun, případně tzv. virtuálních strun elektronického cimbalonu, jejich vyhodnocení a aplikaci na celý nástroj, včetně dalších úprav. Práce vychází z problematiky konstrukčních vlastností klasického cimbálu a jeho způsobu tvorby tónů. U jednotlivých navržených metod jsem využil poznatky o snímání elektrických kytar, o funkci laserové harfy, o možnostech midi kontrolerů a o vlastnostech elektretových mikrofonů.

Klíčová slova

Cimbál, cimbalon, konstrukce strun, způsoby snímání hudebních parametrů, paličky, menzura, dynamika, MIDI kontroler, laserová závora, single coil snímač, sustain pedál, elektretový mikrofon, midicimbalom.

Abstract

This term paper focuses on the design of several possible methods of electroacoustic transduction (further called pickup), specifically of virtual strings of the electronic cimbalom, their evaluation and application to the entire tool, including other modifications. The paper is based on the problems associated with the classical cimbalom's design, as well as with its method of tone production. For each of the proposed methods I have made use of my own experiences with guitar pickup, laser harp function, MIDI controller capabilities, and the properties of electret microphones.

Key words

Cimbalom, cimbalon, creation of strings, ways to capture musical parameters, sticks, scale, dynamics, MIDI controller, laser photocell, single coil pickup, sustain pedal, electret microphone, midicimbalom.

Bibliografická citace

NOP, P. *Návrh a konstrukce snímací části cimbalonu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 59 s. Vedoucí bakalářské práce MgA. Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce MgA. Mgr. Ondřeji Jiráskovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále pak Radku Otřísalovi, za elektronickou konzultaci jedné z metod, Andree Čumpelíkové za pomoc s anglickým překladem a Petru Nopovi za celkovou korekturu. V neposlední řadě děkuji Matěji Šenkovi a Kláře Hyspecké.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
1 CIMBÁL	9
1.1 VZNIK A VÝVOJ CIMBÁLU	9
1.1.1 <i>Ladění</i>	13
1.2 ČÁSTI CIMBÁLU	14
1.2.1 <i>Korpus</i>	14
1.2.2 <i>Nohy</i>	20
1.2.3 <i>Pedálová lyra</i>	21
1.2.4 <i>Paličky</i>	22
1.2.5 <i>Víko</i>	23
1.2.6 <i>Kabátek</i>	24
1.3 VÝHODY A NEVÝHODY CIMBÁLU	24
2 CIMBEL A JEHO ČÁSTI	25
2.1 KORPUS	25
2.1.1 <i>Struny</i>	25
2.2 NOHY	25
2.3 PEDÁL	26
2.4 PALIČKY	26
3 NÁVRHY JEDNOTLIVÝCH METOD PROVEDENÍ STRUN	27
3.1 SNÍMAČ	27
3.2 VODIVÉ STRUNY	28
3.3 LASEROVÁ STRUNA	29
3.4 HLAVNÍ PÁČKOVÝ SPÍNAČ A POLOHOVÉ SPÍNAČE	31
3.5 ELEKTRETOVÝ MIKROFON JAKO HLAVNÍ SPÍNAČ	33
3.5.1 <i>Zvukový spínač</i>	35
4 KONSTRUKCE	40
4.1 PODKLADOVÁ DESKA	40
4.2 DUSÍTKA	41
4.3 STRUNY A JEJICH UCHYCENÍ – 3D MODEL	41
4.4 PEDÁL	46
4.5 ELEKTROINSTALACE	47
5 ZÁVĚR	52
RESUME	53
6 SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	54
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, VELIČIN A SYMBOLŮ	55
8 SEZNAM OBRÁZKŮ	56
9 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK A GRAFŮ	58
10 PŘÍLOHY ULOŽENÉ NA CD	59

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na návrh a ověření možností snímání zvuku strun, případně virtuálních strun pro elektronický hudební nástroj, tzv. cimbalon (pracovní název: CIMBEL). Tyto možnosti vyhodnotím z hlediska hmotnosti, rozměrů, ceny a kvality snímání. Kvalitou snímání se rozumí schopnost co nejlépe zachytit co nejvíce různých hudebních parametrů, vznikajících během hry, a následně je co nejděleji interpretovat a napodobit tím vlastnosti běžného cimbalu. Požadované vlastnosti jsou: dynamika úhozu, rozdíl ve zvuku podle místa dopadu (je rozdíl mezi rozeznáním struny blízko u kobyly a např. uprostřed struny) a samozřejmě také kvalita odskoku paliček, což je parametr, který musí být ověřen profesionálním cimbalistou.

Záměrem bakalářské práce je sestavit elektronický cimbal, který by byl primárně určen pro domácí cvičení (například žáků základních uměleckých škol). Nejde tedy o vytvoření kvalitnější náhrady koncertního cimbalu, ale o zkonstruování dostupnější pomůcky pro domácí hraní. Ke snímací části bude připojen MIDI převodník, který bude pomocí USB komunikovat s PC programem na přehrávání zvukových vzorků. Sestrojení MIDI převodníku, ani následného zvukového programu není tématem této mé práce. To je úkolem kolegů Korytáře a Bičana.

Oproti klasickému cimbalu jsou požadované vlastnosti CIMBELU především: nižší hmotnost (a tedy výrazně snazší mobilita), levnější pořizovací cena a také možnost regulace hlasitosti, případně i připojení sluchátek, což podstatně zlepšuje tréninkové vlastnosti CIMBELU. Výsledný nástroj by měl být přenosný a skladný, ale musí si zachovat požadované, klíčové parametry, které jsou shodné s cimbalovými.

Text bakalářské práce je rozdělen do čtyř částí; první se zabývá historií, konstrukcí a vlastnostmi běžně používaných cimbalů u nás, druhá uvádí nahrazení jednotlivých komponentů cimbalu k dosažení žádaných vlastností pro CIMBEL. Třetí část popisuje návrh a realizaci jednotlivých metod způsobu snímání s vyhodnocením jejich vlastností a vhodnosti pro použití na celý CIMBEL. Čtvrtá část je zaměřena na samotnou konstrukci celého nástroje s popisem jednotlivých dílů.

1 CIMBÁL

Oxfordský slovník hudby definuje cimbál jako velký hudební nástroj rozeznívaný pomocí kladívek či paliček, používaný v populární (nonartificiální) hudbě a inspirující Zoltána Kodályho, Clauda Debussyho a další autory, vč. Igora Stravinského, ke kompozici hudebních partů pro cimbál ve svých dílech a tím jeho zařazení i do hudby artificiální. Jeremy Motnagu v *The Oxford Companion to Music* píše o: „*Maďarském, či velkém cimbálu, který byl vypracován okolo roku 1870 Józsefem V. Schundou a má rozsah D–e*“ a dodává, že: „*Menší, úzce související, tradiční formy jsou používány po celé jihovýchodní a východní Evropě.*“¹

1.1 VZNIK A VÝVOJ CIMBÁLU

Nástroje se obecně dělí do čtyř skupin, podle způsobu tvorby zvuku. Jsou to nástroje *idiofonické* (samozvučné), *membranofonické* (blanzvučné), *chordofonické* (strunné) a *aerofonické* (dechové). Základní podstatou tvorby tónu u chordofonických nástrojů je rozechvění struny napnuté mezi dvěma body. Tyto body bývají dle nástroje označovány za kobylky či pražce. Podle způsobu, jakým je struna rozechvěna, dělíme tyto chordofony dále na smyčcové, drnkací, úderné aj. U cimbálu jsou struny rozkmitány pomocí úderů paliček, kterým se budu podrobněji věnovat v příslušné kapitole. Za přímé předchůdce cimbálu se považují středověká drnkací psalteria různých tvarů, vyskytující se již v 11. století.

V publikaci *Hudební nástroje* Antonín Modr uvádí: „*Za hlavní typologické znaky cimbálu považujeme symetrický lichoběžníkový tvar rezonanční skříně a kobylky, které rozdělují několik asborově tažené struny na více tónů. Takové nástroje jsou v německy mluvících zemích nazývány Hackbrett, ve Francii tympanon, v Anglii dulcimer a u Slovanů, Maďarů a Rumunů jejich názvy pocházejí z řeckého kymbalom.*“². Obecně je pro tento nástrojový typ používán termín *cimbalom*. V českých zemích se pojem „*cymbal*“ vyskytl v roce 1680. Podle Pavla Kurfürsta lze existenci cimbálu dokázat nejpozději do poslední třetiny 18. století v jižních Čechách, Polabí, na Českomoravské vysočině a potom dále na Moravě, nejdéle dochované na Hané, Brněnsku, Kyjovsku a Valašsku. Vyrábí se nejčastěji ze smrkového a javorového dřeva. Některé typy mají až tři ozvučné rozety, běžně užívané jsou typy bez otvorů. [3]

¹ Montagu, Jeremy: *The Oxford Companion to Music*, 2011 [online]

² MODR, Antonín. *Hudební nástroje*. [1. vyd.]. Praha: Editio Bärenreiter, 2002. ISBN 978-80-86385-12-9., s. 447.

Historické prameny datují vznik cimbalu k začátku 19. století a také připisují jeho nejzásadnější konstrukční vývoj Jozefu Václavu Schundovi, díky jehož úpravám (větší tónový rozsah a přidání tlumičů, tzv. „*dusítek*“) pronikl cimbál i do artificiální hudby, stal se atraktivnějším pro skladatele (v Maďarsku se o propagaci cimbalu a jeho brzkou oblibu zasloužil např. Ferenc Liszt) a přestal být chápán pouze jako nástroj lidové tvorby. Pokračovatelem firmy Schunda se od roku 1900 stala firma Bohák, která vylepšila pedálový systém. V současnosti se v České Republice cimbalu věnují tři výrobci (Jiří Galuška, firma Holak a firma Cimbály Všianský). Vedle „*klasického*“ cimbalu, označovaného jako velký cimbál, jenž zachovává konstrukční rozvržení podle Boháka, mající rozsah od „C“ po „a3“, existuje i verze přenosného, tzv. „*malého cimbalu*“ (rozměrově velmi blízký mnou navrhovanému CIMBELU, ale se zmenšeným rozsahem) či tzv. „*light*“ verze, kde je zachován tónový rozsah a nástroj po demontáži nohou a pedálové lyry váží přibližně 50kg. Hra na cimbál se České Republice vyučuje na hudebních konzervatořích v Brně, Kroměříži a Ostravě. Tato výuka rovněž probíhá na Akademii múzických umění v Banské Bystrici a na Akademii Ference Liszta v Budapešti. [4,7]



Obr. č.1: Vyřezávaný cimbál značky Schunda. [4]



Obr.č. 2: Malý, přenosný cimbálek s ozvučnými rozetami od firmy Holak. [9]



Obr.č. 3: Malý, přenosný cimbálek s ozvučnými rozetami od firmy Holak. [9]



Obr.č. 4: Light cimbál z dílny Pavla Všianského. Jeho váhu se podařilo snížit na cca 50kg [8]



Obr.č. 5: Light cimbál z dílny Pavla Všianského. Jeho váhu se podařilo snížit na cca 50kg [8]

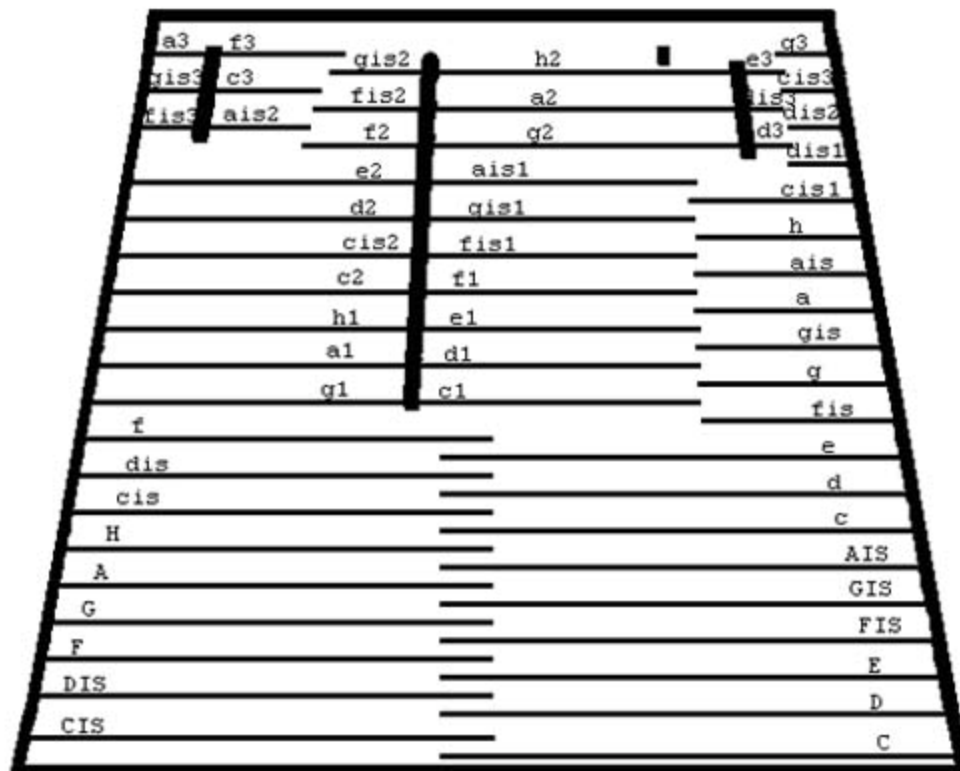
1.1.1 Ladění



Obr.č. 6: Standardizovaná podoba rozmístění tónů klasického cimbalu s rozsahem C-a3 [8]

Ve své magisterské diplomové práci, podrobně se zabývající cimbálem, Jan Káčer uvádí: „Jedním ze znaků, podle kterého se rozlišují nástroje, je jejich ladění. Na dochovaných obrazových dokumentech jsou znázorněny nástroje s 8, 13 nebo 16 tóny. Umístění diskantové kobylky určuje poměr, ve kterém je diskantová struna rozdělena. Nejčastěji je kobylka umístěna tak, že struny zní v kvintě, tedy v poměru 2:3. Jsou známy i nástroje s poměrem tónů 5:8, nebo 3:4. J. Schunda rozmístil struny tak, že v diskantové části používá modifikace kvintového systému, s použitím zvláštní kobylky pro nejvyšší tóny a v basové části použil systém dvou nezávislých celotónových stupnic, dávajících dohromady stupnici chromatickou. Na velkých cimbálech vycházejících z modelu Bohák se můžeme setkat s několika výjimkami v ladění. Například u moldavských cimbalů Moldova je kromě přidaného tónu „kontra H“ v horní části zaměněno rozmístění tónů „fis3“ a „g3“. Zajímavý je způsob ladění basových strun, které používal například Toni Iordache, kdy u cimbalu Bohák ladil v basové části tóny od „E“ dolů diatonicky, čímž dosáhl nejhlubšího tónu „kontra A“.“³

3 KÁČER, Jan: Cimbal a cimbalisté na Uherskohradištsku, Diplomová práce na Ústavu evropské etnologie FF MU, Brno, 2012, s. 28.



Obr.č.7 Menzura velkého maďarského cimbalu značky Bohák. Rozmístění strun je nejrozšířenější model uspořádání tónů. [7]

1.2 ČÁSTI CIMBÁLU

Cimbál je složen z několika částí, z nichž některé jsou připevněny a tvoří tzv. korpus, tedy tělo nástroje a jiné jsou naopak odnímatelné, případně bychom je lépe zařadili mezi příslušenství (paličky). V této kapitole se budu těm nejpodstatnějším z nich podrobněji věnovat. V další kapitole zabývající se částmi CIMBELU pak posoudím, které části je nutné ponechat a které naopak můžeme nahradit, či zcela vyloučit pro další úpravy a bádání.

1.2.1 Korpus

Tělo nástroje se skládá z několika jednotlivých částí. Pro lepší představu o jejich konstrukci doplním svůj komentář k nim také o popis výrobce Pavla Všianského.

1. Rezonanční skříň – Všianský píše: „Na spodní rezonanční desce (z rezonančního smrku) jsou naklizené a přišroubované dvě kolíkové hlavy (z přeplátované bukové překližky) a mezi nimi je javorové olištování. Hlava – neboli količnick, jak je někdy označována, je vyrobena z bukové překližky. U této překližky je vyloučeno prasknutí, což je nejčastější a nejzávažnější

závada starších cimbálů. Křížení jednotlivých vrstev překližky zároveň umožňuje lepší držení ladicího kolíku než masivní dřevo. Překližka také oproti masivnímu dřevu minimálně reaguje na změny vlhkosti. Celá hlava je přiklžena k cimbalovému dnu a ještě přichycena pěti nerezovými šrouby, jejichž matice na dně cimbalu je potřeba pravidelně kontrolovat a udržovat pevně dotažené. Tyto šrouby totiž zabraňují odtržení hlavy, která je vystavena neustálému obrovskému tahu strun.“⁴

2. Pancíř – Litino–kovová vzpěra (vážící okolo 25 kg), která zabraňuje zhroucení celé rezonanční skříňe pod obrovským tahem napnutých strun.

3. Duše – Podobně jako u jiných dřevěných nástrojů (např. u houslí je jedna duše) přenášejí válcovité, dřevěné kolíky, zvukové vibrace na spodní ozvučnou desku. Jsou umístěné pod kobyčkami a kromě přenosu rezonance mají také podpůrnou funkci a zabraňují zhroucení horní desky vystavené tlaku kobylek.



Obr.č. 8: Rezonanční skříň. Dřevěné válečky jsou duše přenášející rezonanci. Pancíř a jeho tyče sloužící jako rozpora pro kolíčník. [4]

4 VŠIANSKÝ, Pavel: cimbály.cz/konstrukce, webové stránky výrobce, 2008.

4. Horní rezonanční deska – „Materiálem pro rezonanční desku, její vnitřní žebrování i podpěrné duše je prvojakostní rezonanční smrk, který se vyznačuje vysokou hustotou a rovnoletostí a absolutním vyloučením i sebemenších vad. Tloušťka desky, rozmístění žeber a duší jsou jedny z nejdůležitějších faktorů určujících kvalitu zvuku, a jsou proto předmětem našeho neustálého výzkumu a vývoje.“⁵ Z hlediska akustického řetězce se jedná o radiátor.



Obr. č. 9: Žebrování rezonanční desky. [8]

5. Závěsné a ladící kolíky – Na závěsné kolíky je připevněn konec struny s okem. Na ladící kolíky je navinut druhý, volný konec a pomocí levotočivých závitů a ladící kliky jsou struny napnuty. Kolíky jsou vyrobeny z oceli a díky niklovanému povrchu ochráněny proti korozi. Průměr a délka kolíků je dimenzován tak, aby vydržely tah strun více než 800 N.

Ladění se provádí klikou, existují profesionální ladiči, podobně jako u pián. Ladí se cca jednou za tři měsíce (individuální). Vzhledem k násobení počtu strun od jednotlivých basových až po ztrojené, či početnější, lze říci, že naladit cimbál je velmi náročná a precizní práce. [8]

⁵ VŠIANSKÝ, Pavel: cimbály.cz/konstrukce, webové stránky výrobce, 2008.

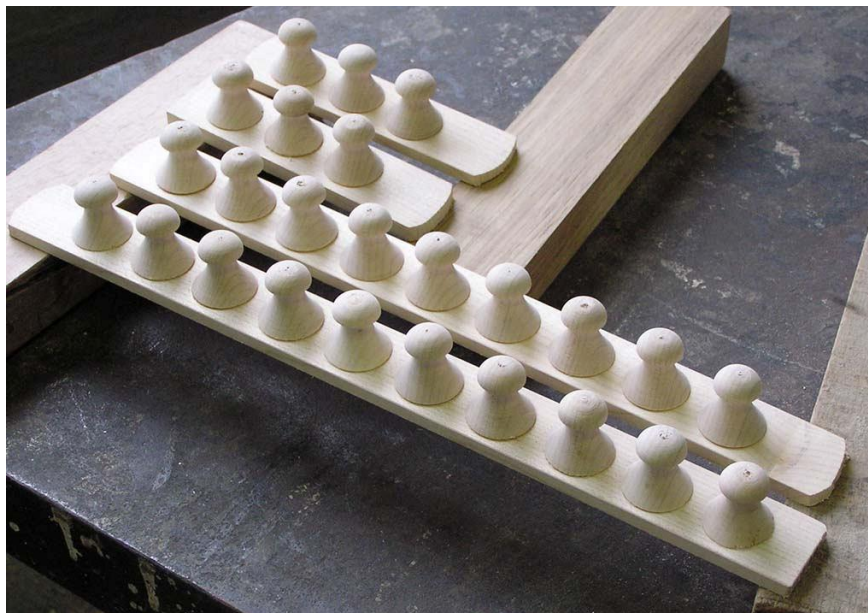


Obr.č. 10: Závěsné kolíky se strunovým okem, na kašmírové podložce. [8]



Obr.č. 11: Ladící kolíky s navinutými strunami a ladící klikou. Ta funguje jako klíč k utahování šroubů. [8]

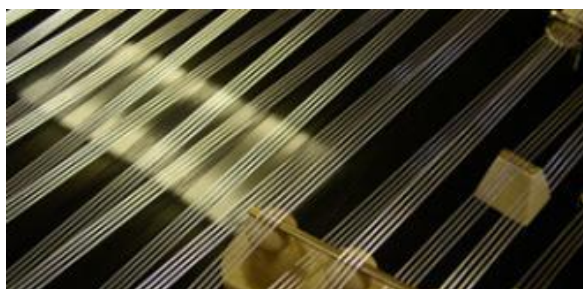
6. Kobyly – Bývají vyrobené z javorového dřeva, ve tvaru malých hříbků, na kterých jsou dále nasazeny pražce z mosazného drátu. Jejich výška je určující pro sklon struny. Výška struny od rezonanční desky je u kobyly 3,5 cm a na druhé straně 2 cm. To je pro všechny struny shodné, jejich sklon je však určen jejich délkou.



Obr.č. 12: Kobyly před nasazením pražců. [8]

7. Struny – Oscilátory, rozkmitané úderem paliček. Počet strun, přiřazených jednomu tónu, se pohybuje od jedné až po čtyři. Struny se dělí na opřádané a neopřádané (hladké). Hladké struny jsou zhotoveny z ocelového drátu, s pocínovaným povrchem, zvyšujícím odolnost proti vlhkosti a korozi. Hladké struny, použité pro střední a vyšší tóny mají jasný a silný tón se zastoupením většího počtu vyšších harmonických, než opřádané struny, používané pro nižší a basové tóny. Jádrem opřádaných strun, jež je základním stavebním prvkem, je zhotoveno ze stejného ocelového, pocínovaného drátu nejvyšší kvality. Jeho šestihranný průřez zajišťuje perfektní spojení jádra s měkkou, měděnou opřádkou (využívá se i hliník, stříbro, zlato, cín, wolfram). Ta dává basovým tónům silný a vyrovnaný zvuk, ale jejich spektrum ztrácí na barevnosti. Velmi podobné struny se používají u klavíru. [8]

a)



b)



Obr.č. 13: a) hladké struny, b) opřádané struny [8]

8. Tlumiče a jejich mechanika – tlumiče, či dusítka, mají tvar hřebenů a tlumí struny. Děje se tak za pomoci pedálové a tlumící mechaniky. Sešlápnutí pedálu je přeneseno pomocí pevného, kovového drátu na několikanásobný pákový převod, který s využitím drátové kulatiny zvedá dusítka. Jejich pohyb zpět (na struny) zajišťují pera, kterými jsou dusítka přišroubována k hlavám rezonanční skříně. Ohledně výroby dusítek Pavel Všianský uvádí: „Na výrobu hřebenů dusítek je použito bezvadného rovnoletého javorového dřeva, u kterého nehrozí riziko prohnutí, a tím pak špatné přiléhání plstěných dílků ke strunám. Tyto dílky jsou vyrobeny ze 100% karbonizované vlny takové hustoty a tloušťky, aby byl zajištěn ten nejlepší tlumicí účinek.“⁶

Běžně se používá hra s dusítky. Zvuk je sice tlumen, je ale stále slyšet. Takový způsob hry se nazývá *staccato*, příp. přeneseně z jiných nástrojů výraz *con sordino*.

Hra bez dusítka se tedy označuje jako *senza sordino*.

Zatlumování, či naopak rezonance je vztažena vždy na všechny cimbálové struny zároveň.



Obr.č. 14: Dusítkový hřeben levé strany. Na pravé straně protikus, zatlumující zde volné struny. [8]

⁶ VŠIANSKÝ, Pavel: webové stránky výrobce [online], 2008, dostupné z <http://cimbaly.cz/konstrukce/>



Obr.č. 15: Pero zajišťující zpětný pohyb dusítek na struny. [8]

1.2.2 Nohy

Nohy patří k odnímatelným částem nástroje. U cimbalu plní stejnou funkci jako například nohy u stolu. Zajišťují tedy stabilitu nástroje a zároveň určují jeho výšku. Jejich snadná montáž a demontáž je zajištěna šroubováním. Každá noha je opatřena trapézovým závitem (šroubem) vsazeným do středu nohy v její ose. V těle cimbalu jsou naproti tomu čtyři vnitřní závity (matice) do kterých lze nohy našroubovat. Materiál šroubů se liší podle výrobce. Dříve se používaly šrouby dřevěné, následně kovové a dnes již nejsou žádnou zvláštností ani ertalonové (polyamid - tvrzený plast). Netradičním uchycením nohou je některými výrobci nabízené uchycení pomocí kovových „západek“ (nabízí např. firma Holak). Existují i tzv. regulovatelné nohy, které lze díky šroubu a matce, umístěných uvnitř nohy, prodloužit o několik centimetrů. Díky tomu lze cimbál stabilně umístit i na nerovném terénu. Možnost rychlé montáže a demontáže nohou je nespornou výhodou při tzv. „sbalení“ cimbalu a jeho následném transportu.

1.2.3 Pedálová lyra

Pedál, pantem připevněný k desce (tzv. lyře) vyřezávané do tvaru obráceného srdce, ale i jiných tvarů, je další odnímatelnou částí cimbálu. Pomocí sešlapávání pedálu cimbalista pohybuje dusítky. Sešlápnutím pedálu jsou dusítka nadzvednuta a zvuk je tedy netlumený. Z toho vyplývá, že cimbál je zatlumený až do doby sešlápnutí pedálu. Lyra je připevněna zespodu cimbálu na šroubech, většinou pomocí křídlových matic. Takový způsob uchycení usnadňuje a zrychluje montáž a demontáž pedálového systému.



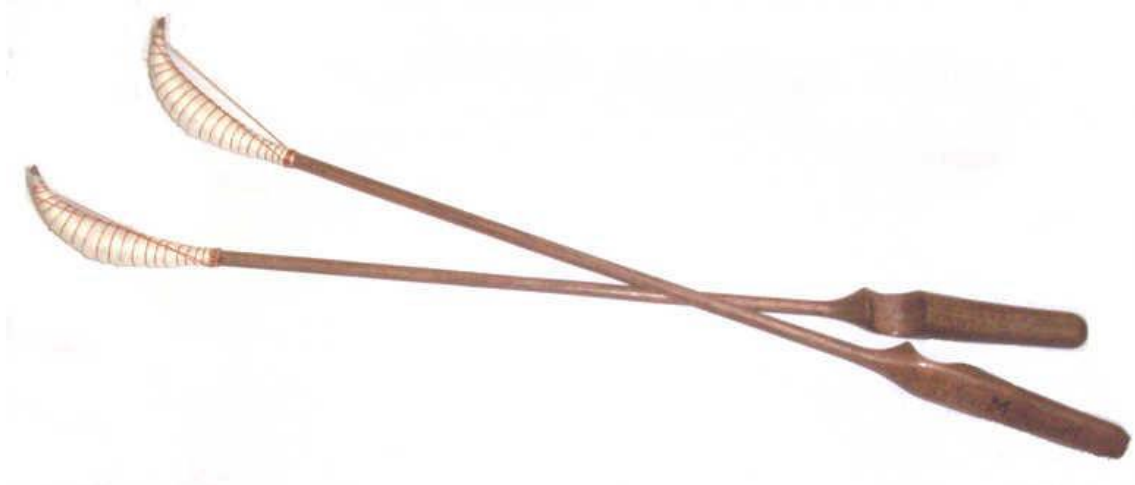
Obr.č. 16: Pohled zespodu na pedálovou mechaniku s uchycenou lyrou a drátem přenášejícím tah pedálu. [8]



Obr.č. 17: Na obrázku lze vidět celou spodní část cimbálu s pedálovou lyrou. [9]

1.2.4 Paličky

Dvě paličky používají cimbalisté k rozeznění strun, podobně, jako se kladívky rozeznívají struny u klavíru. Hra paličkami je datována kolem roku 1300. Předcházela jí hra pouze prsty (resp. nehty) dodnes používaná, označovaná jako pizzicato. V historii se používaly paličky kovové, jejichž kontakt s kovovými strunami měl za následek daleko ostřejší a pronikavější zvuk, než při použití dřevěných paliček. Kovové paličky se proto využívaly převážně v případech, kdy měl cimbál hlavní až sólovou úlohu v seskupení více nástrojů. V případech, kdy cimbál plnil úlohu doprovodného nástroje, se při hře používaly dřevěné paličky obalované plstí (případně kůží, či vatou) a omotané reznou nití, a to z důvodu měkčího a tlumenějšího tónu. Vývoj paliček je odvozen od oblastí, materiálů a jednotlivých nástrojů, ke kterým jsou paličky používány. Na vývoj paliček můžeme přihlédnout z hlediska územního, neboť obdoby těchto excitátorů lze nalézt v Číně, Indii, Persii, Rakousku, Velké Británii, Švýcarsku, či severní Americe. Materiály těchto oblastí zahrnují dřeva všech tvrdostí, případně bambusová stébla či ptačí brka. Novodobě jsou v malé míře zastoupeny i plasty. Tvar paliček je velmi variabilní, hlavně co se týče rukojeti. Záleží samozřejmě na hráči, jaké paličky jsou mu pocitově nejpříjemnější, takže není zvláštností, že si někteří profesionálové navrhují svůj vlastní tvar rukojeti. Zůstaneme-li u běžně používaných paliček, je jejich tvar prověřen léty praxe, a proto se standardizoval a pro jejich výrobu existují specializovaní výrobci (jiní, než výrobci cimbálů). Pro výrobu těchto standardizovaných paliček se v Česku používá dřevo, které je charakterizováno v tabulce tvrdosti dřev jako tvrdé, tedy např. ořech, jasan, dub, lípa a třešeň. Kromě výše zmíněných paliček omotaných plstí, se pro jiný styl hry používají čistě dřevěné paličky, jejichž zvuk je podobně ostrý a pronikavý, jako u kovových paliček.



Obr.č. 18: Cimbálové paličky obalené vatou. Při hře dnes nejvíce využívaný typ. [7]



Obr.č. 19: Celodřevěné paličky pro výraznější zvuk nástroje. [7]

1.2.5 Víko

Uzamykatelné víko, většinou překližkové s rámem a žebrováním, které je na nástroj nasazeno shora a lze snadno sejmout, slouží k uzavření cimbálu a chrání struny před prachem, vlhkostí, teplotními rozdíly a prodlužuje tak jejich životnost.



Obr.č. 20: Velký cimbál, bez výřezby, z dílny Pavla Všianského. Uzamykatelné víko, které je dnes běžně používaným doplňkem ke klasickému cimbálu, je přichyceno na dvou pantech, které jsou oba zásuvné. Je tedy snadné víko odejmout. [8]

1.2.6 Kabátek

Vnější, dřevěné opláštění nástroje z boků. Často obohacen tradičními vyřezávanými motivy.

1.3 VÝHODY A NEVÝHODY CIMBÁLU

Výhodou běžného cimbálu je jednoznačně zvuk tvořený strunami ve spojení se dřevem, ze kterého je celý nástroj zkonstruován. Dynamiku vlastního hudebního projevu hráč určuje silou úhozů paličkami, případně zatlumováním strun pomocí dusítka, ovládaného pedálovou mechanikou. Hráč má tedy plně pod kontrolou hlasitost nástroje.

Hlavní nevýhoda běžného cimbálu spočívá v jeho hmotnosti. Je to právě dřevo a kov, kvůli kterým nástroj váží okolo 60-90 kg (existuje i odlehčená verze např. od firmy Holak, jejíž váhu se výrobcům podařilo snížit na cca 50 kg, což je stále příliš, představíme-li si, že má s nástrojem manipulovat jeden samotný člověk). Další nevýhodou je cena. Ta se pohybuje okolo 100.000,- Kč až 120.000,- Kč (ale jsou samozřejmě i mnohem vyšší cenové relace). Pro výchovu mladých cimbalistů, kteří by udržovali tento folklórní nástroj „při životě“, může být finanční náročnost pořízení cimbálu rozhodující. Stejně tak ani základní umělecké školy nemají dostatek prostředků ke koupi více takových nástrojů k zajištění výuky na škole a zároveň k zapůjčení nástroje domů na cvičební účely žákům, majícím o hru na cimbál zájem. Také již dříve zmiňovaná hlasitost nástroje může být považována za nevýhodu. Ne každý má možnost trénovat hru na cimbál, nerušen okolními ruchy a zároveň svou hrou nerušit své okolí. Jako každý strunný hudební nástroj je i cimbál náchylný k rozladování a to buď vlivem okolní teploty, nebo různých mechanických vlivů. V neposlední řadě jsou nevýhodou běžného cimbálu jeho rozměry (142 cm x 61 cm), přičemž sama hrací plocha bez dusítek je podstatně menší (88 cm x 61 cm).

2 CIMBEL A JEHO ČÁSTI

Z podstaty projektu CIMBEL je patrné, že je naší snahou snížit rozměry a váhu nástroje nahrazením některých neodmyslitelných částí cimbalu za lehčí či skladnější, či úplnou eliminací pro nás nepotřebných součástí (např. pro princip jejich funkce nevyužijeme rezonanční skřín, pancíř, duše, horní rezonanční desku, kobylky atd.). Tyto součásti nástroje, podílející se na tvorbě zvuku, jsou zaznamenány v nahraných vzorcích, jež budou dále použity k reprodukci při hře na CIMBEL. Nelze však eliminovat veškeré komponenty, je tedy potřeba je nahradit či imitovat.

2.1 KORPUS

Tělo nástroje lze zmenšit pouze na hrací plochu (lichoběžník o rozměrech: spodní strana 88 cm, horní strana 58 cm, délka 61 cm). Tato hrací plocha bude sestávat z podkladové desky, na níž bude umístěna snímací část (viz příslušná kapitola). Tloušťka podkladové desky a snímací části bude určující pro výšku samého těla nástroje. Materiál určený pro výrobu prototypu bude prozatím dřevo, ovšem v dalších krocích vývoje projektu při získávání dalších poznatků o dané problematice, bych dřevo rád nahradil vhodnějším materiálem.

2.1.1 Struny

Nevýhoda použití klasických strun je jasně dána jejich tahem jakým působí na nástroj a následně vahou konstrukce, zajišťující tuto tahovou sílu. V další kapitole zabývající se návrhem a konstrukcí snímací části jsem proto (kromě metody se snímačem) úplně opustil myšlenku užití strun a hledám způsob, jak je co nejlépe nahradit. Základním požadavkem na náhradu strun je vizuální imitace týkající se i šířky a sklonu těchto strun, aby výuka hry na nástroj byla žákem dále aplikovatelná na nástroji skutečném. Dalším požadavkem je dostatečný odskok paliček od struny, tedy její pružnost. Tento faktor musí být ověřen profesionálním cimbalistou.

2.2 NOHY

Pro projekt CIMBELU je výroba a použití nohou z hlediska hmotnosti a rozměrů nežádoucí. Stabilita a vhodná výška nástroje bude zajištěna stolem, na kterém bude CIMBEL položen.

2.3 PEDÁL

Pro cimbalistu není důležité, jak je pedál k nástroji připevněn. Lze tedy eliminovat lyru i celý převodní systém od pedálu k dusítkům. Ty budou virtualizované a ovládané v programu běžným sustain pedálem (klavírový pedál), který funguje jako vypínač a převodníku tedy udává informace o sepnutém či vypnutém stavu

2.4 PALIČKY

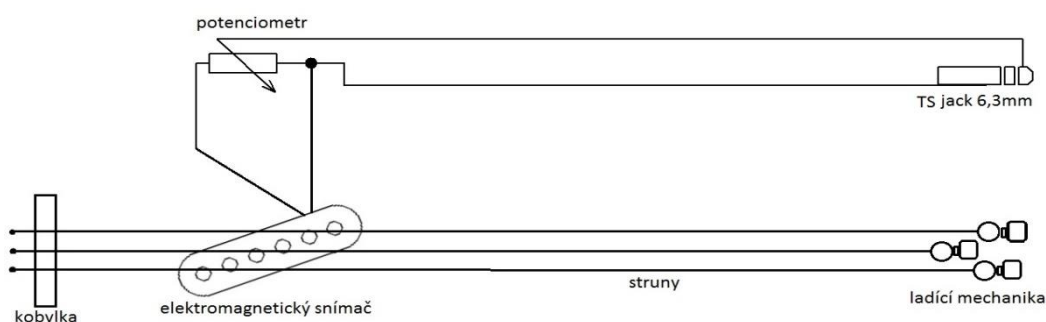
Pro projekt CIMBELU je žádoucí, aby byl nástroj uzpůsoben pro hru klasickými paličkami, které každý cimbalista vlastní. Pro tréninkové vlastnosti by bylo nevhodné používat pro hru na CIMBEL jiné paličky, než na jaké je hráč zvyklý při normální hře (přípustnou úpravou by bylo ovázat plst' stříbrným, či jiným vodivým materiálem ve formě neizolovaného drátku, viz metoda vodivých strun). Rozdíl mezi zvukem obalených paliček a celodřevěných bude zaznamenán v programu, kde se podle zvoleného typu paliček přehraje příslušný vzorek. Pro možnost rychlé výměny plstěných paliček za dřevěné bude pravděpodobně využít tlačítkový spínač, umístěný přímo na těle nástroje. Bylo by nepraktické výměnu paliček volit v PC programu, neboť během hry na cimbál má cimbalista mnohdy velmi málo času na fyzickou výměnu paliček. U hry na CIMBEL by se také nemohl zdržovat nastavováním programu. Tlačítkový spínač (co nejbližší hrací ploše), který paličky v programu automaticky přepne, je tedy rychlejší a výhodnější řešení.

3 NÁVRHY JEDNOTLIVÝCH METOD PROVEDENÍ STRUN

V následující části se zaměřím na jednotlivé možnosti převedení úhozů paličkami na zvuk či změnu napětí, která bude následně v převodníku převedena na MIDI zprávu, dále potřebnou k ovládání programu a reprodukci nahraných zvukových vzorků. Ke generování napětí a sledování jeho změn jsem využil vývojové desky s mikroprocesorem ATmega328 s názvem Arduino UNO. Arduino je vybaveno 14-ti digitálními a 6-ti analogovými vstupními piny. Pomocí USB kabelu je snadno propojitelné s PC, kde ho lze programovat a pomocí plotteru sledovat např. úrovně změny napětí a tím si ověřit funkčnost metody snímání. [11]

3.1 SNÍMAČ

Na dřevěné desce jsou pomocí kytarové ladící mechaniky upnuty tři struny. Ty jsou naladěné stejně jako u cimbálu, tedy všechny na stejnou frekvenci. Kytarová mechanika je dostatečně vysoko od podkladové desky, na opačné straně je výška od desky a hlavně délka strun omezena dřevěným hranolkem, který má funkci kobylky. Do desky je vyřezán otvor, do něhož je vsazen běžný elektromagnetický (single coil) kytarový snímač, ovládaný potenciometrem hlasitosti. Výstupem je TS kabel. Funkčnost tohoto modelu je možné vyzkoušet připojením např. do kytarového zesilovače. Co se týče věrnosti přenosu signálu, je tato varianta provedení jistě nejlepší. Není nutné zvuk cimbálu samplovat, ani sestrojovat převodník. Nevýhodou je, stejně jako u cimbálu, rozladování strun a náročnost stavby nástroje, který by se ve výsledném provedení velmi blížil klasicky vyráběnému cimbálu. Možnost použití způsobu se snímačem se dá aplikovat na již zhotovený standardní cimbál, případně na jeho odlehčenou verzi. Tato myšlenka však není řešením problému s hmotností, rozměrem, ani cenou cimbálu. Zajímavé by ale bylo využití snímačů při nahrávání, či ozvučení na koncertě (ne každý zvukař má na folklorních vystoupeních dostatečný počet mikrofonů pro celý soubor, natož pro kvalitní snímání cimbálu). Pro projekt CIMBELU je ale tato metoda nevhodná a bude lepší držet se myšlenky MIDI kontroleru.



Obr.č. 21: Schéma zapojení snímače a jeho umístění pod strunami.



Obr.č. 22: Konstrukční provedení snímače se strunami. Hlasitost je ovládána otočným potenciometrem.

3.2 VODIVÉ STRUNY

Tato metoda spočívá v nahrazení cimbálových strun neizolovanými dráty, přičemž na jeden z drátů je přivedeno napětí a na jiném je napětí snímáno. Spojení těchto dvou „strun“ je způsobeno vodivým materiálem omotaným na plsti paliček místo rezné nitě. Tuto metodu lze použít na všechny tóny cimbalu, kde je počet strun dvě a více. Nelze ji tedy využít na spodní (basové) tóny, kde je struna pouze jedna. Při počtu více strun než dvou jsou ty nadbytečné použity pouze pro vizuální imitaci strun skutečných a jsou prázdné. Výhoda této metody je v její jednoduchosti a zároveň v eliminaci tahu působícího na nástroj (dráty není nutné napnout takovou silou jako běžné struny, neboť není vyžadováno jejich kmitání v přesně daných frekvencích). Vymizí také jev rozladování nástroje v důsledku vnějších vlivů. Nevýhodou je nemožnost užití metody na všechny struny a potřebná úprava paliček kvůli vodivosti a absenci informace o místě dopadu paliček. Řešením místa dopadu by mohlo být rozdělení snímané struny na více částí a snímáním těchto jednotlivých dílů, což by ale zvýšilo počet převodníkem prověřovaných vstupů. Tím by se zvětšila celková latence nástroje. Pro použití na celý nástroj je tento způsob snímání nevhodný.

3.3 LASEROVÁ STRUNA

K myšlence použití laseru mne přivedla laserová MIDI harfa od Jona Bumsteada. Na tu se dá hrát přerušováním laserových paprsků podobně jako při brnkání na struny. Na konci každého paprsku je fotorezistor, který slouží jako detektor paprsku a pozná tak, kdy je přerušen. Pokud dojde k přerušení, Arduino vyšle signál a je přehrán tón. Sestrojil jsem tedy takzvanou laserovou závoru, inspirovanou závorou Mgr. Václava Piskače, který ji využil pro vědecké experimenty, hlavně z důvodu velmi přesně měřitelného časového úseku při přerušení paprsku. „*Myslím si, že laserová závora nabízí široké možnosti měření jak v demonstračním provedení, tak v laboratorních pracech, tak v rámci žákovských projektů.*“⁷

Použil jsem:

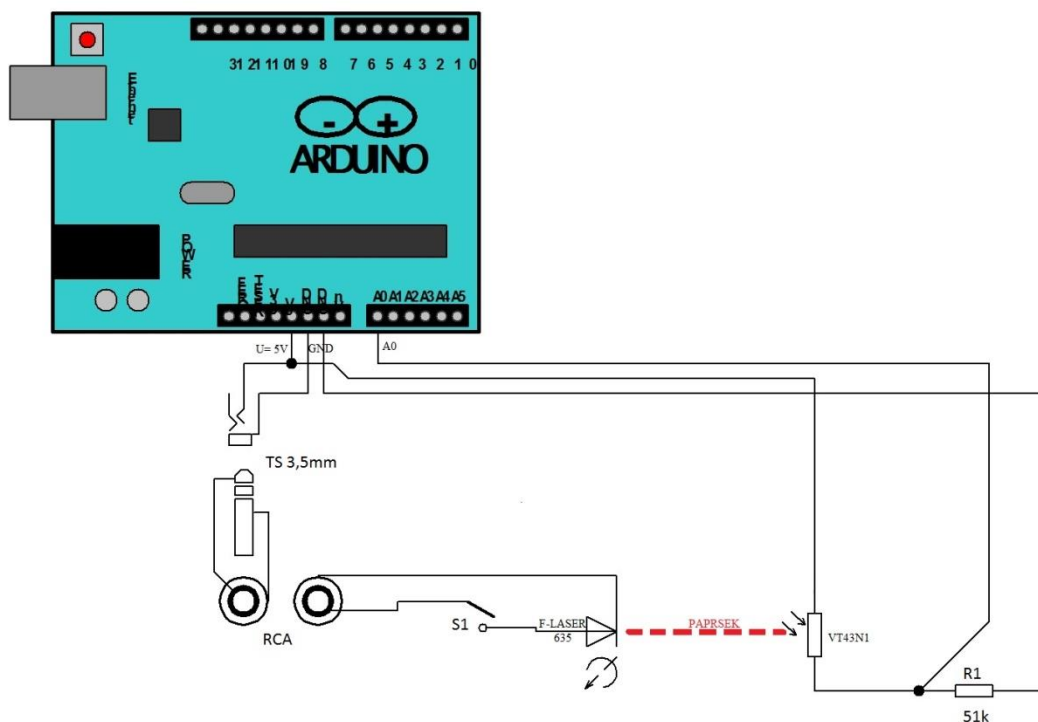
- Laserový modul F-LASER 635 s vlastnostmi: $P_o=4$ mW, $U=3$ V, $I_o=50$ mA, a průměrem paprsku na výstupu 5 mm.
- Fotorezistor VT43N1 s odporem 300 k Ω při úplné tmě, 4 k Ω až 12 k Ω při 10 lux, 8 k Ω při 10 lux

Pro praktické a snadné připojení laseru jsem použil audio kabel jack-cinch. Arduino jsem naprogramoval prostým způsobem tak, že do laseru posílá požadované napětí a na analogovém vstupu A0 čte napětí procházející přes fotorezistor. Laser i fotorezistor jsem každý zvlášť umístil do plastové krabičky a to do takové výšky, že na potřebné vzdálenosti není problém se paprskem trefit na fotorezistor. Tím jsem vyřešil provozní nastavení závory. Celá tato závora by se chovala jako spínač, což je pro převod na MIDI zprávu ideální. Síla úhozu, a tedy hlasitost tónu, může být spočítána jako časová prodleva mezi prvním a druhým přerušením závory paličkou. Laserová závora je z hlediska hmotnosti rozhodně nejlepší variantou. Tato metoda však bohužel neřeší další požadavek, a sice na kterém místě (v jaké vzdálenosti od laseru) byl paprsek přerušen. Kvalita odskoku paliček záleží na materiálu, nad který laserovou závoru umístíme. Nejvhodnější by samozřejmě bylo umístit ji nad struny cimbalu, pozbývá to však účelu. Proto jsem využil kontaktní gumu z kláves, která opticky připomíná struny, a svojí pružností by mohla odskok paliček zlepšit. Metoda laserové závory je ale finančně nevýhodná (cena jedné laserové diody je 120,- Kč). Dále jsem toho názoru, že by umístěním paprsků ve stejné vzdálenosti, jako jsou od sebe vzdáleny struny u cimbalu,

⁷ PISKAČ, Václav: Laserová závora, stavba a použití, Modulární systém dalšího vzdělávání pedagogických pracovníků JmK v přírodních vědách a informatice [online], Brno, 2011

PDF dostupné z: www.fyzikalnisuplik.websnadno.cz/pretazene/laserova_zavora.pdf

pravděpodobně vznikl problém s přerušením více paprsků najednou, což by vedlo k nevyhovujícím podmínkám pro hraní. Zároveň by bylo nutné upravit paličky tak, abychom zvětšili jejich plochu, aby lépe a na delší dobu přerušovaly paprsek (např. umístěním lehkého a neprůhledného materiálu na horní stranu paliček). Proto není ani tato metoda vhodná k použití pro celý nástroj.



Obr.č. 23: Schéma zapojení laserové závory. Na vstupu A0 Arduino zaznamenává hladinu napětí a její pokles při přerušení paprsku. Pro jednoduchost připojení laseru je použit RCA (CINCH) konektor a RCA-TS kabel.

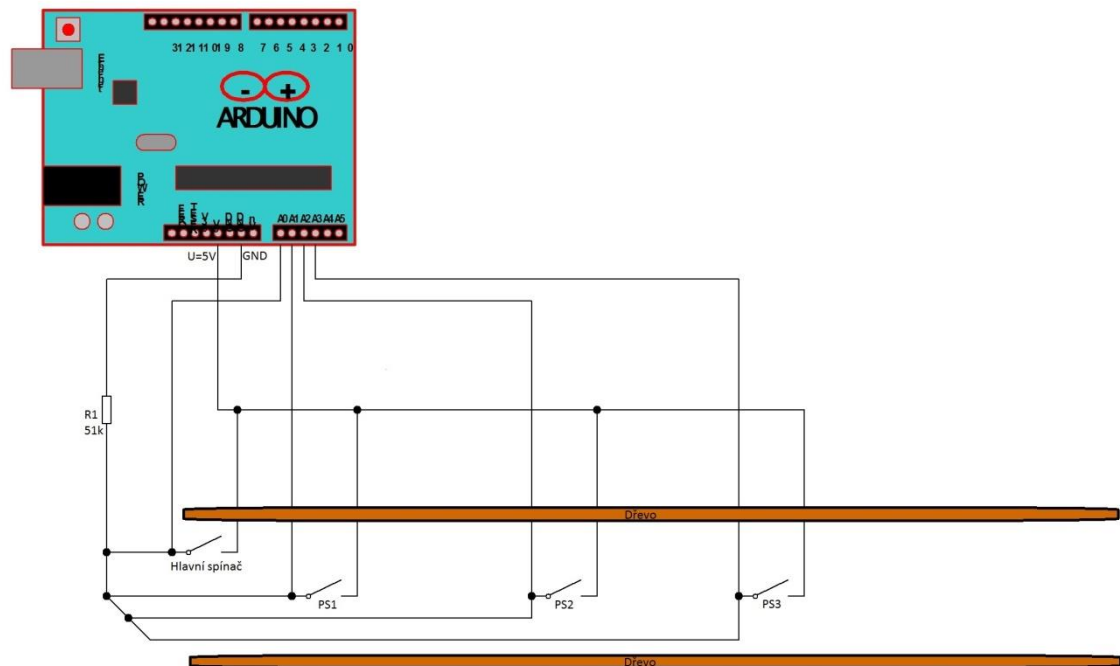


Obr.č. 24: Konstrukční provedení laserové struny. Vlevo Arduino Uno a krabička s fotorezistorem, vpravo laser. Kontaktní guma z kláves zde slouží jako vizuální pomůcka k určení struny a zároveň zlepšuje odskok paliček.

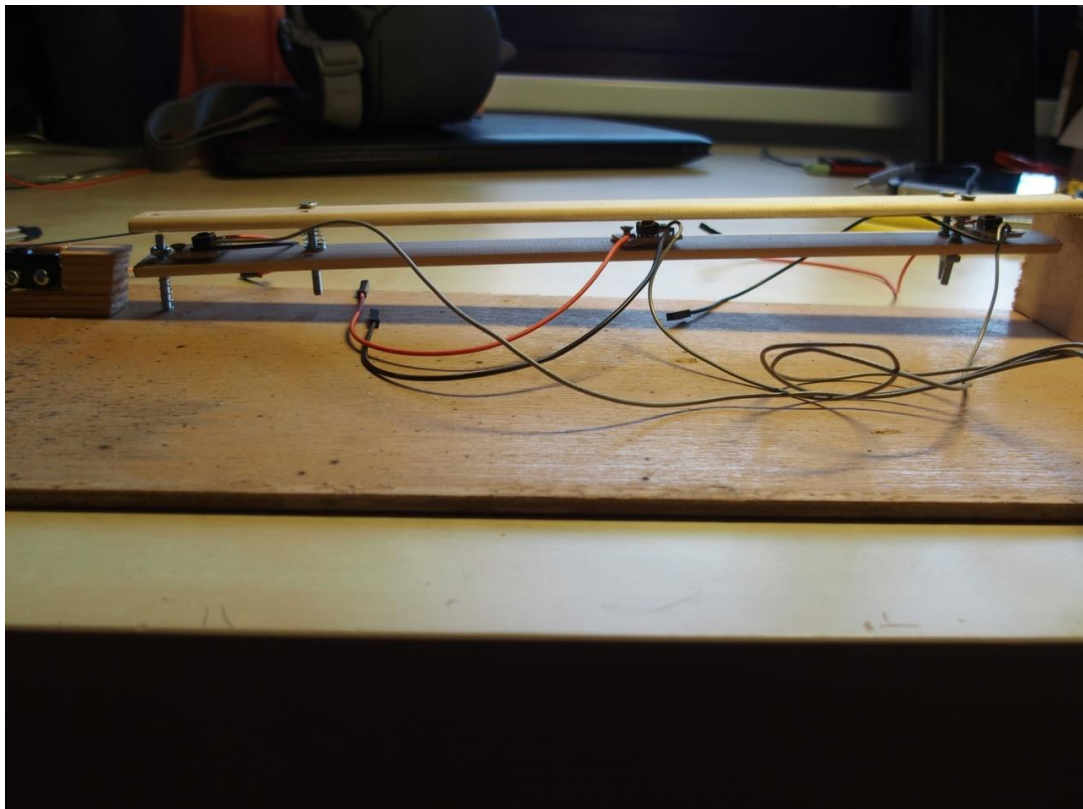
3.4 HLAVNÍ PÁČKOVÝ SPÍNAČ A POLOHOVÉ SPÍNAČE

Následující metoda stejně jako metoda s laserem využívá informaci struna zapnuta/vypnuta. Pro spínání a vypínání struny je využit 1-pólový mikrospínač ZIPPY v mechanickém provedení s páčkou (pro přehlednost pojmenován hlavní spínač). Tato páčka je v kontaktu se dřevěnou lištou, která je rozměrově podobná cimbálové struně. Lišta (dále nazývám pojmem „struna“) je na jedné straně uchycena pomocí pantu ke dřevěnému hranolku a na druhé straně pomocí šroubu s pružinou přišroubována k podkladu. Podle utažení šroubu je možné regulovat volnost a tím i rozsah pohybu struny nahoru a dolů. Takové uchycení je vhodné zejména kvůli sklonu „struny“, který je potřebný pro napodobení vlastností běžných cimbálových strun. Hlavní spínač je tedy spínán při vertikálním pohybu „struny“. Pro určení místa dopadu paliček jsou využity tři tlačítkové 1-pólové mikrospínače TC-0102-T, kdy dva jsou umístěny na krajích a jeden uprostřed „struny“. Aby bylo možné spínače sepnout, je k horní (výše popsané) liště, pomocí šroubů s pružinami přišroubována další dřevěná, rozměrově identická lišta. Mikrospínače jsou vloženy mezi tyto dvě lišty. Šrouby jsou povolené natolik, aby v klidovém stavu nebyly spínače sepnuté. Jejich sepnutí nastane při úhozu paliček, načež jsou lišty pomocí pružin vráceny zpět do klidového stavu. Uvedu, jak tedy tato metoda funguje v praxi. Při úhozu paličkou se volná strana „struny“ stlačí směrem dolů. Tím je sepnut hlavní spínač, předávající převodníku informaci: struna sepnuta. V tu chvíli převodník prověří stav vedlejších spínačů určujících místo dopadu. Málokdy se podaří sepnout pouze jeden z těchto tří spínačů, což ovšem není problém, protože převodník zpracovává pouze první sepnutí a ostatní, pozdější, ignoruje. Praktičnost tohoto provedení pro celý nástroj spočívá v cyklickém prověřování stavu pouze hlavních 58 spínačů. Až při změně stavu některého z nich je prověřen stav jeho polohových spínačů. To samozřejmě zkracuje časovou prodlevu, za kterou je nástroj po úderu schopen reagovat. Nemusí totiž cyklicky prověřovat všech 174 polohových spínačů. Výhodou takového provedení oproti předchozím metodám je, že získáme informace o místě dopadu. Dynamiku určíme jako časovou prodlevu mezi sepnutím hlavního spínače a následně polohového. Při konstrukci se ale objevily velké nevýhody. Už samo nastavení délky šroubů s pružinami, resp. rozsah pohybu, se ukázalo jako problematické. Nedařilo se nastavit vše tak, aby se hlavní spínač sepnul jako první a ještě bylo možné zaznamenat stav polohových spínačů. Ve chvíli, kdy hlavní (páčkový) spínač již spínal jako první, bylo zase zapotřebí příliš velké síly k tomu, aby sepnuly polohové spínače. Zároveň bylo celé provedení příliš mechanické, což mělo za následek nevyhovující hlasitost samotného sepnutí. Při tak hlasitém spínání jednotlivých strun by nebylo možné na nástroj

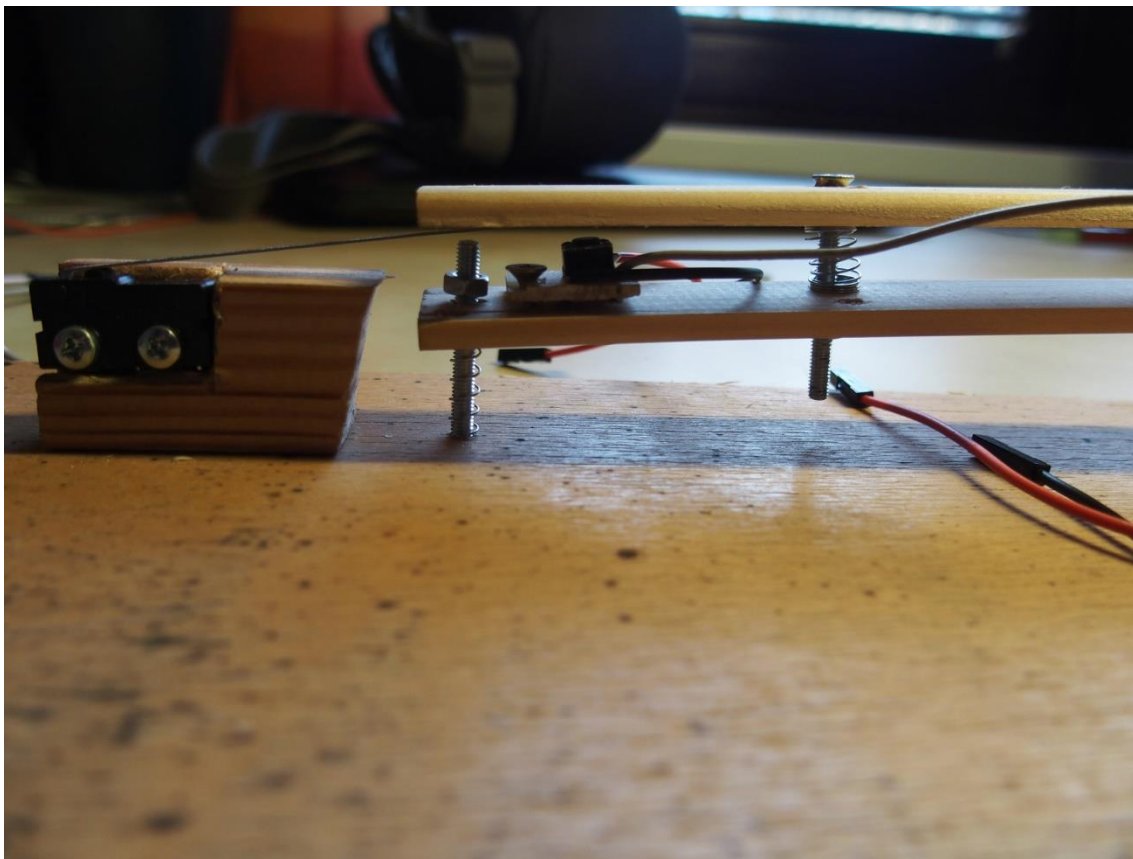
nerušeně hrát. Takové provedení je tedy pro náš projekt nevhodné, ale myšlenka použití spínačů pro určení místa dopadu paličky se projevila jako funkční. Je tedy zapotřebí lépe vyřešit hlavní spínač struny a opustit vertikální pohyb.



Obr.č. 25: Schéma zapojení hlavního a polohových spínačů (PS), vložených mezi dřevěné lišty. Na analogových vstupech Arduino (A0 až A3) je zaznamenáváno sepnutí spínačů.



Obr.č. 26: Konstrukční provedení spínací struny. Pravá strana je připevněna na pantu, levá se pohybuje.

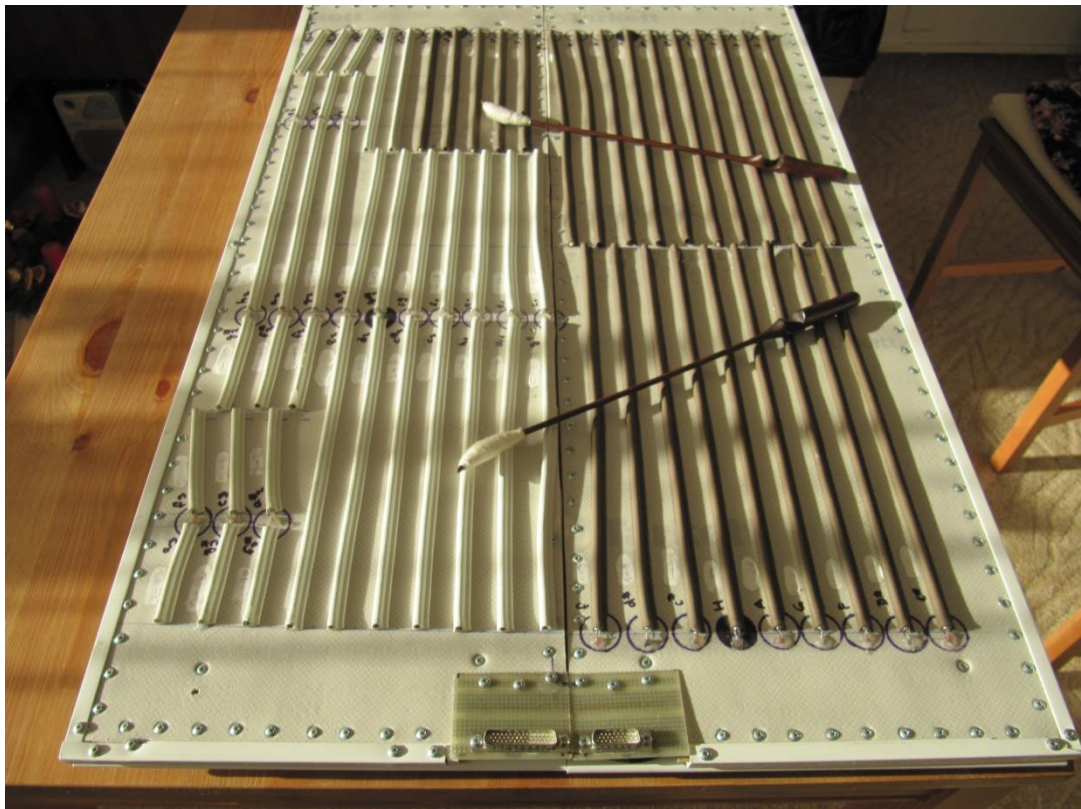


Obr.č. 27: Detail hlavního pákového spínače, krajního polohového spínače a uchycení struny pomocí šroubů.

3.5 ELEKTRETOVÝ MIKROFON JAKO HLAVNÍ SPÍNAČ

Z předchozí metody ponechám využití i provedení polohových spínačů, určujících místo dopadu paliček. Funkci hlavního spínače v této metodě ale bude plnit elektretový mikrofon (MCE101, 16,- Kč), jenž je díky své konstrukci vhodně malý a dostatečně citlivý. Jedná se o typ kondenzátorového mikrofonu, kde elektrický signál vzniká kmitáním vodivé membrány v elektrickém poli (to je umožněno vlastnostmi některých izolantů – elektretů, trvale udržujících elektrickou polarizaci). Za mikrofon bude potřeba zařadit operační zesilovač v zapojení komparátoru. Ten na svých dvou vstupech (+ a -, resp. U_1 a U_R) porovnává přiváděné napětí U_1 se srovnávací úrovní napětí U_R . Výstup komparátoru je pouze dvoustavový (kladné nebo záporné saturační napětí). Pro MIDI převodník je toto napětí vyhodnocováno jako 1 nebo 0, což je právě námi požadovaná informace, jež bude převedena na zprávu: nota zapnuta/nota vypnuta. Pro žádaný výsledek je zapotřebí, aby měl komparátor co největší dobu přeběhu. Pro převod úderů paliček na mikrofon je použit izolační pásek (používaný v rámech dveří či oken) s D profilem. Tento pásek, mající potřebné rozměry D profilu (průměr 1 cm), je na jednom konci uzavřen ucpávkou a na druhém konci je u jeho ústí umístěn mikrofon. Při dopadu paličky na trubici vznikne vzduchová/zvuková vlna, která díky

uzavřenému konci směřuje právě k mikrofonu, kde vychýlí jeho membránu. Snadné uchycení ke dřevěné liště s polohovými spínači (viz kapitola 3.4) je umožněno spodní, lepicí stranou pásku. K myšlence použití elektretového mikrofonu mne přivedl způsob, jakým se midicimbalom rozhodl sestrojil pan Radek Otrísal. Zaujalo mě hlavně jeho snadné provedení struny samé pomocí gumové trubice. Sám autor na svých webových stránkách píše: „*Smyslem stránek, je naznačit možnosti, kterými by se mohlo dojít k různým výsledkům při výrobě el. cimbalu. Na základě dvou vzorků popsat, jak by se mohl vývoj ubírat. Ano, i Vy můžete pokračovat ve vývoji tohoto nápadu. Ano, i Vy si můžete midicimbalom vyrobit dle svých vizí. Zde můžete čerpat nápady, a realizovat je např. ve vylepšené verzi.*“⁸ a v naší společné konverzaci na dané téma dodává: „*Elektret je zapojený na snímací ploše pouze do stíněných káblíků, vedoucích do přípojovací sběrnice pomocí scsi kabelu, ten nejjemnější konektor s dostatečným počtem pinů. Kabel zakoupen, nevyráběn.*“⁹



Obr.č. 28: Midicimbalom p. Otrísala. Struny nemají sklon, dynamiku a určení místa dopadu.[10]

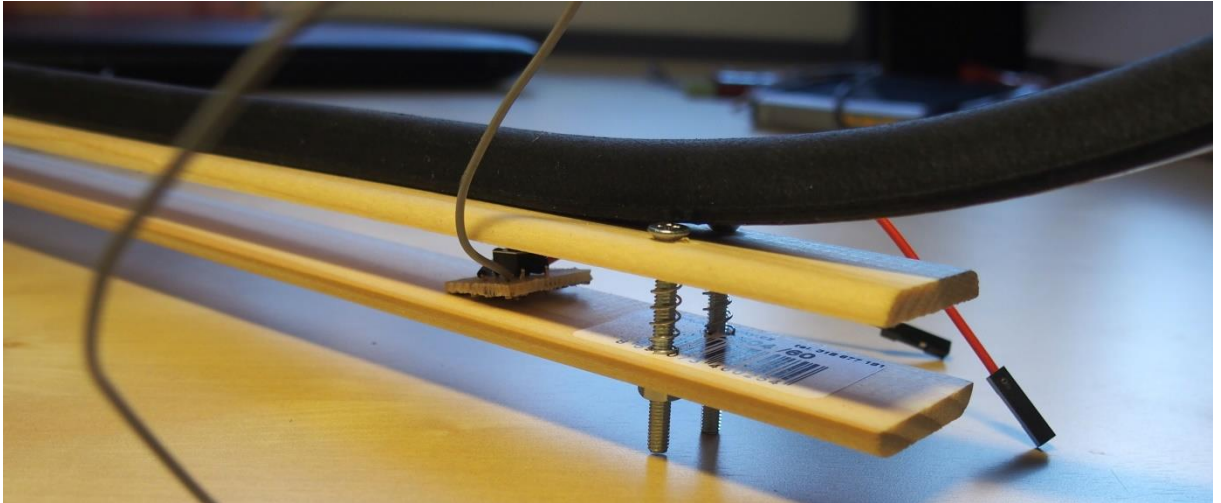
8, 9 OTRÍSAL, Radek: Midicimbalom [online], Brno, dostupné z <http://www.midicimbalom.estranky.cz/>

Převodník pro tuto metodu mi vyrobila na zakázku firma Microdesignum (kolega Korytář vyvinul vlastní MIDI převodník, splňující naše společné požadavky). Já myšlenku převzal a aplikoval na mnou sestrojené provedení polohových spínačů.

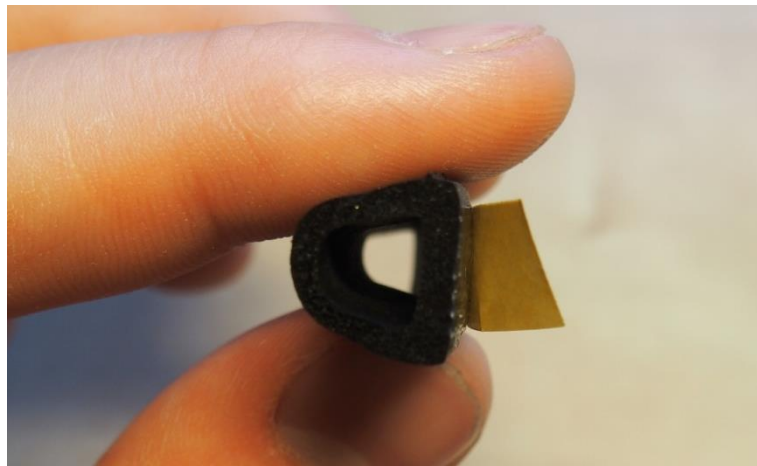
3.5.1 Zvukový spínač

Dalším krokem bylo zakoupení, či sestrojení zvukového spínače, díky němuž lze zaznamenat vybuzení elektretového mikrofону na nominální úroveň, která bude považována, za sepnutý stav spínače. Objevil jsem v časopise *Rádio plus KTE* schéma a popis zvukového spínače, stavebnice KTE 515: „Rezistor $R1$ vytváří předpětí pro elektretový mikrofón a oddělovací kondenzátor $C1$ odděluje stejnosměrnou složku mikrofonního napětí. Následně rezistor $R2$ upravuje vstupní odpor zesilovače na hodnotu vhodnou pro mikrofón. Signál z mikrofónu je zesílen operačním zesilovačem v neinvertujícím zapojení s nastavitelným zesílením. Trimrem $P1$ ve zpětné vazbě je možno nastavit zesílení v rozsahu 1 – 100. Výstupní signál je veden na rezistor $R4$ a oddělovací diodu $D1$ a následně i rezistor $R5$ a zpožďovací kondenzátor $C2$. Je-li na výstupu $IO1A$ kladná půlvlna mikrofonního signálu, kondenzátor $C2$ se rychle nabije přes rezistor $R5$. Naopak při záporné půlvlně je pomalu vybíjen pouze přes rezistor $R4$, což zajišťuje právě dioda $D1$. Výsledné napětí na kondenzátoru $C2$ je pak přivedeno na komparátor $IO2$ s rozhodovací úrovní danou děličem $R6$ – $R7$. Rezistor $R8$ zavádí do obvodu hysterezi, která zabraňuje zakmitávání výstupního signálu v případě, že úroveň vstupního napětí se pohybuje těsně kolem překlápěcí hladiny. Protože nejnižší kladné napětí operačního zesilovače se pohybuje okolo 2 V, následuje za komparátorem ještě odporový dělič $R9$ a $R13$ zajišťující bezpečné uzavření spínacího stupně tvořeného tranzistorem $T1$, který má v kolektoru indikační LED $D2$. Oba operační zesilovače jsou napájeny nesymetrickým napětím, a proto je u prvního z nich pro korektní funkci vytvořena umělá zem (střed napájecího napětí) jednoduchým děličem z rezistorů $R11$ a $R12$. Na svorky $X1$ lze připojit relé ap. podle požadovaného použití obvodu.“¹⁰. Stavebnice KTE 515 podle popisu splňuje moje požadavky a má tu výhodu, že lze díky trimru $P1$ nastavit citlivost mikrofónu podle potřeby. Nevýhodou, která mi zkomplikovala samu konstrukci, je to, že se jedná o článek z roku 2001 a stavebnice KTE 515 se již dnes neprodává. Naštěstí se mi ale podařilo obstarat si potřebný plošný spoj a jednotlivé součástky.

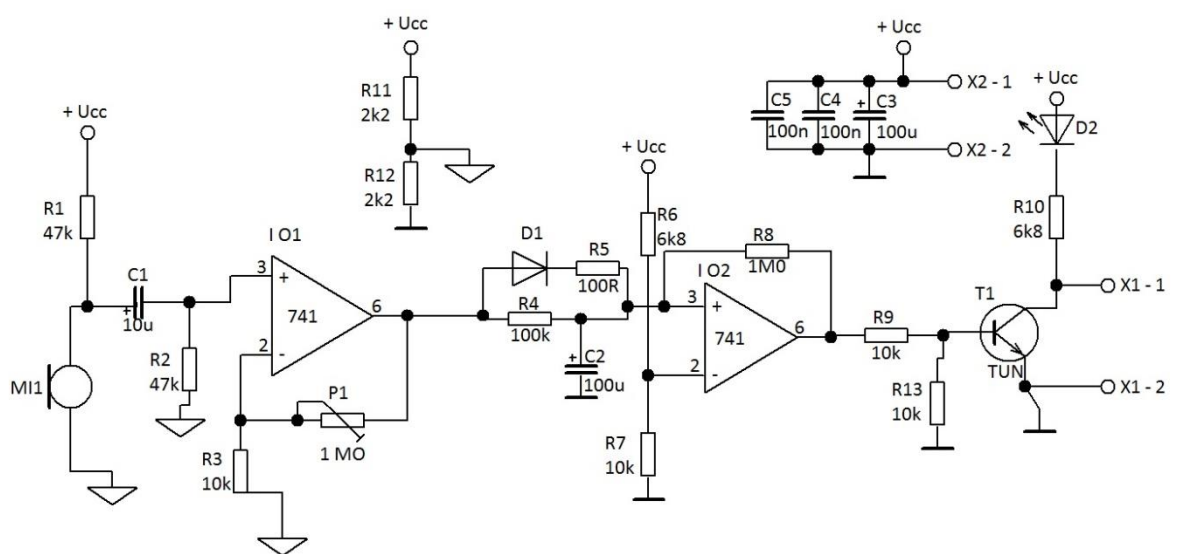
¹⁰ *Rádio plus KTE* [online]. 2001, č. 7 [cit. 10.12.2016].



Obr.č. 29: Konstrukční provedení s polohovými spínači a přilepeným izolačním páskem na horní straně struny.



Obr.č. 30: Profil pásky s lepicí stranou.



Obr.č. 31: Schéma stovebnice zvukového spínače KTE 515. [12]

Po sestrojení spínače KTE 515, jsem provedl několik zkoušek možností praktického využití, při kterých jsem bohužel zjistil, že jeho reakční doba je příliš pomalá a celý spínač je tedy pro použití nevyhovující, a nezbylo tedy nic jiného, než ověřit další možnosti.

Zakoupil jsem stavebnici TIPA PT028, nazvanou „Potleskový spínač“. Tato stavebnice pomocí relé spíná v závislosti na okolním ruchu a slouží k ovládní elektricky spínaných zařízení (lampička ovládaná tlesknutím). Pomocí trimru má nastavitelnou citlivost elektretového mikrofону, což je pro snímání pouze jedné struny nezbytné. Tato stavebnice je, podobně jako ta předchozí, dostatečně malá, ale cenově o poznání dražší, než předchozí KTE 515. Zatímco KTE 515 jsem byl schopen pořídit 1 kus za cca 70,- Kč, PT028 bez poštovného vycházel na 216,- Kč. Z hlediska pořizovacích nákladů jsem tedy hned na začátku věděl, že tento spínač není ideální. Pokud by ale fungoval dle požadavků, nezbylo by mi, než z něho vycházet pro další vývoj, případně ho 58x koupit a sestavit. Po zkonstruování jsem obvod vyzkoušel a zjistil, že spínání přes relé trvá v tomto případě příliš dlouho a ani tento spínač nebude pro CIMBEL použitelný. Celkově je tato stavebnice koncipována na jiné účely, než na jaké jsem ji chtěl využít.

Poslední, mnou sestrojený a vyzkoušený zvukový spínač PXM 1102, již naštěstí fungoval správně. V článku „Jednoduchý obvod pro detekci zvuku“, který jsem objevil v občasníku pro uživatele mikrokontrolerů PICAXE, je tento spínač popsán a schématicky ilustrován.

Autor článku píše: „*Pokud použijete obvod jako převodník intenzity zvuku na napětí, trimr R3 „citlivost“ nastavte nejprve na nejmenší odpor a pak trimrem R4 „nula“ nastavte na výstupu nulové napětí. V praxi je ovšem výhodnější, aby na výstupu bylo i v klidu malé napětí; tím se zabrání vytvoření takzvaného „mrtvého pásma“. Trimrem R3 nastavíme nyní takovou citlivost, která vyhovuje našim požadavkům. Při normální řeči ve vzdálenosti 50 cm od mikrofónu by mělo být na výstupu napětí přibližně +1 V, při tlesknutí by se na výstupu mělo objevit plné napětí, tedy asi +3 V. Napětí se na výstupu objeví okamžitě, ale klesá jen pomalu, prodlužuje tedy signál, generovaný přijatým zvukem. Doba odeznění signálu se liší a je závislá na hodnotě C6. S hodnotou C6 470 nF je doba odeznění přibližně 0,5 sekundy. Zvětšením hodnoty C6 na 2,2 μ F prodloužíme dobu odeznění signálu přibližně na 2 sekundy. Pokud použijete obvod jako prahový spínač, pak různým nastavením trimrů R3 a R4 můžeme dosáhnout různé prahové úrovně – kdy jen zvuk silnější, než je tato úroveň, projde na výstup. Při dostatečně silném zvuku se objeví výstupu napěťový puls o amplitudě +3 V.*“¹¹

¹¹ LANGHAMER, Luboš: Jednoduchý obvod pro detekci zvuku. PICAXE MAGAZÍN [online]. 2011, č. 02 [cit. 11.5..2016]. dostupné z <http://www.hobbyrobot.cz/wp-content/uploads/PXM1102.pdf>

Celý obvod pracuje následovně:

Tranzistor T1 zesiluje o 25 - 28 dB ve frekvenčním rozsahu 300 Hz – 30 kHz. Úroveň signálu na jeho kolektoru se pohybuje v rozmezí 25 – 75 mV. Citlivost mikrofonu lze regulovat trimrem R3. Tranzistor T2 ořezává kladnou půlvlnu signálu a dále se zpracovává pouze záporná půlvlna. Protože T2 vodiivosti PNP signál invertuje, na jeho kolektoru získáme napětí velikosti odpovídající amplitudě vstupního signálu. Kondenzátor C6 = 470 nF má svojí velikostí vliv na dobu poklesu napětí. Kvůli jeho poměrně dlouhému vybíjení jsem tedy zkusil nahradit ho kondenzátorem 100 nF. Tím se doba vybíjení zkrátila, ale ne dostatečně. Z hlediska rychlé hry paličkami je tento fakt potřeba zohlednit pro další použití.

Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o článek se schématem, nikoli o stavebnici s tištěným spojem, musel jsem tedy pro sestavení tohoto zvukového spínače použít univerzální plošný spoj. Osazením všech součástek na co nejmenší ploše univerzálního spoje a jeho následným uříznutím jsem získal obvod o rozměrech 5 x 5 x 1 cm. Po vyzkoušení jeho funkčnosti a nastavení potřebné citlivosti jsem se rozhodl, že tento obvod je vhodný pro celkovou konstrukci všech padesáti osmi strun. Tolikrát jsem ho tedy sestavil a každá struna má tento svůj hlavní spínač. Velkou výhodou je již zmíněná regulace citlivosti. Předpokládám, že při hře na cimbál cimbalisté zohledňují (i když nevědomky) sílu úhozu na jednotlivých strunách. Dlouhé, basové struny potřebují k rozezvučení silnější úder než několikanásobně kratší, neopředené struny vysokých tónů. Z tohoto hlediska je výhodná možnost nastavení citlivost jednotlivých strun. Sestrojení celého obvodu vyjde přibližně na 85,- Kč.

4 KONSTRUKCE

Popis provedení prototypu celého CIMBELU jsem rozdělil na pět oddílů, protože z tolika odnímatelných, rozdílných částí se nástroj skládá. Pokusil jsem se co nejlépe imitovat vzhled cimbalu tak, aby bylo pro hráče snadné orientovat se na CIMBELU, i když z hlediska funkčnosti lze některé části zmenšit či umístit na jiné místo. Vzhledem k tomu, že se jedná o prototyp, volil jsem materiály, které jsou dostupné a lze je dobře upravovat a testovat. Pro další vývoj CIMBELU mám představu o jiných materiálech a propracovanějším provedení. Všechny jednotlivé části lze poměrně snadno odebrat a nahradit. Jejich montáž a demontáž nezabere mnoho času a dá se tedy, v případě potřeby, docílit ještě skladnější varianty pro přepravu nástroje. Pro běžnou manipulaci a provoz je ovšem CIMBEL v základním sestavení již dostatečně malý a lehký a nepotřebuje další rozměrové úpravy.

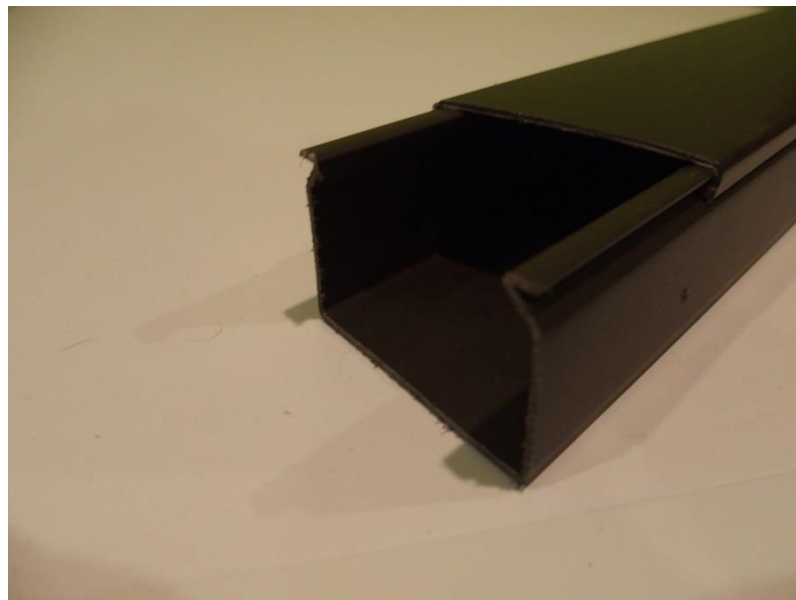
4.1 PODKLADOVÁ DESKA

K uchycení všech dalších komponentů jsem využil desku lichoběžníkového tvaru o výšce 85 cm a šířkách 97 a 75 cm. Jako materiál jsem původně hodlal využít nějaký plast, jako je PVC, Polykarbonát či Ertalon, ale po návštěvě firmy, distribuující polotovary z technických plastů, jsem se dozvěděl, že nejlevnější varianta desky o velikosti čtverečního metru stojí přibližně 6000,- Kč. Rozhodl jsem se tedy si z vlastních zdrojů opatřit desku z překližky o tloušťce 0,5 cm. Pro případné komerční účely bych se ale přiklonil k investici do masivnější, plastové desky. Při další práci jsem zjistil, že mnou použitý materiál je pro daný účel poněkud pružnější, než by bylo optimální, ovšem pro účel sestavení zkušební verze dostatečný. Důležitým kritériem pro materiál použitý na podkladovou desku je jeho velikost, celistvost a pevnost. O něco méně důležitá je váha takové desky, i když samozřejmě hmotnost patří k hlavním parametrům celého projektu. V neposlední řadě je důležitá možnost úpravy desky v podobě vrtání děr pro uchycení dalších částí. Ideální je materiál, do kterého lze vyříznout závit pro šroub. Na desce je dostatek místa pro celou hrací plochu strun, jejich uchycení, vyřešení potřebné elektroinstalace a ještě zbývá rezerva několika centimetrů pro případnou manipulaci s nástrojem. Zesponu jsem desku vybavil čtyřmi gumovými nožičkami, čímž jsem získal ještě 2,5 cm prostoru pro potřebnou kabeláž, či případné úpravy sklonu a výšky. Hrany jsem zaoblil tak, aby byl tvar cimbalu zjevný na první pohled. Celkově je reliéf cimbalu zmenšen pouze na nezbytnou velikost. Menší deska už by nepojala všechny potřebné součásti, nebo by nesplňovala požadavky na rozměr hrací plochy.

4.2 DUSÍTKA

Dvě hnědé, plastové, kabelážní lišty o šířce 6 cm a výšce 5 cm, umístěné na krajích desky mi posloužily k uložení a ukrytí elektroinstalace. Na koncích jsou uzavřeny přilepeným kartonem, ale pro další vývoj bych k uzavření použil estetičtější materiál. Lišty jsou k desce připevněné několika šrouby a jsou snadno odnímatelné. Po vnitřních stranách jsou vyvrtány díry k protažení kabeláže jednotlivých strun a mikrofonů zvukových spínačů. Horní strana lišt je výsuvná a umožňuje tak rychlý a snadný přístup k elektrickým součástkám a kabeláži. Prázdné prostory jsem vyplnil bublinkovou fólií, abych zamezil pohybu elektroinstalace a tedy i nechtěným zvukům při používání hudebního nástroje.

Takové řešení imitace cimbálových dusítek, ohraničujících hrací plochu a přispívajících tak k lepší orientaci hráče na nástroji, je svým vzhledem, rozměrem, cenou, vahou a velmi praktickým využitím, konečným řešením i v případném dalším vývoji CIMBELU.



Obr.č. 34: Kabelážní lišta.

4.3 STRUNY A JEJICH UCHYCENÍ – 3D MODEL

Cimbálové struny jsou rozděleny kobyilkami. Ty určují jejich délku a tím i výšku jejich tónu. Struny pak vedou dál do těla cimbálu, kde jsou ukotveny. Vzdálenost mezi kobyilkami a uchytením strun představuje u skutečného cimbálu cca 22 cm. U mého modelu jsem tuto vzdálenost zmenšil na 2 cm, což napomohlo ke zmenšení tvaru nástroje na opravdu nezbytné minimum. Eliminací potřeby uchytit a napnout kovové struny samozřejmě odpadla i mohutná a těžká litinová vzpěra a celá rezonanční skříň. Vyřazením těchto částí z konstrukce tedy došlo ke zcela zásadní redukci celkové původní hmotnosti nástroje na hmotnost téměř zanedbatelnou.

Na druhou stranu ale vznikl problém, jak poskytnout cimbalistovi co nejvěrnější uspořádání tónů, které chce zahrát a na jejichž umístění je ze hry na původní nástroj zvyklý. Cimbalové struny se ve většině případů střídají tak, že první struna jde přes kovový pražec (kobyliku) vpravo a vlevo je ukotvená. Druhá struna přesně obráceně. Proto se ve výčtu strun střídá, hraje-li se vpravo či vlevo. Přesněji řečeno: Dá-li se na strunu hrát buď vpravo či vlevo. Když jde totiž struna ze 2 cm vysoké kobylinky do ukotvení na úrovni podkladové desky (0 cm), předchozí a následující struny logicky ční nad dolní polovinou této prostřední struny a zamezují tak přístupu paličkou k ní. Hráč tedy může udeřit vždy pouze do horní poloviny (vyvýšené části) struny. Udeří-li paličkou vprostřed strun, kde se vzájemně kříží a jsou tedy ve stejné výšce, dotkne se paličkou více sousedících strun, což je interpretačně nežádoucí. To vše mělo za důsledek následující úpravy a řešení:

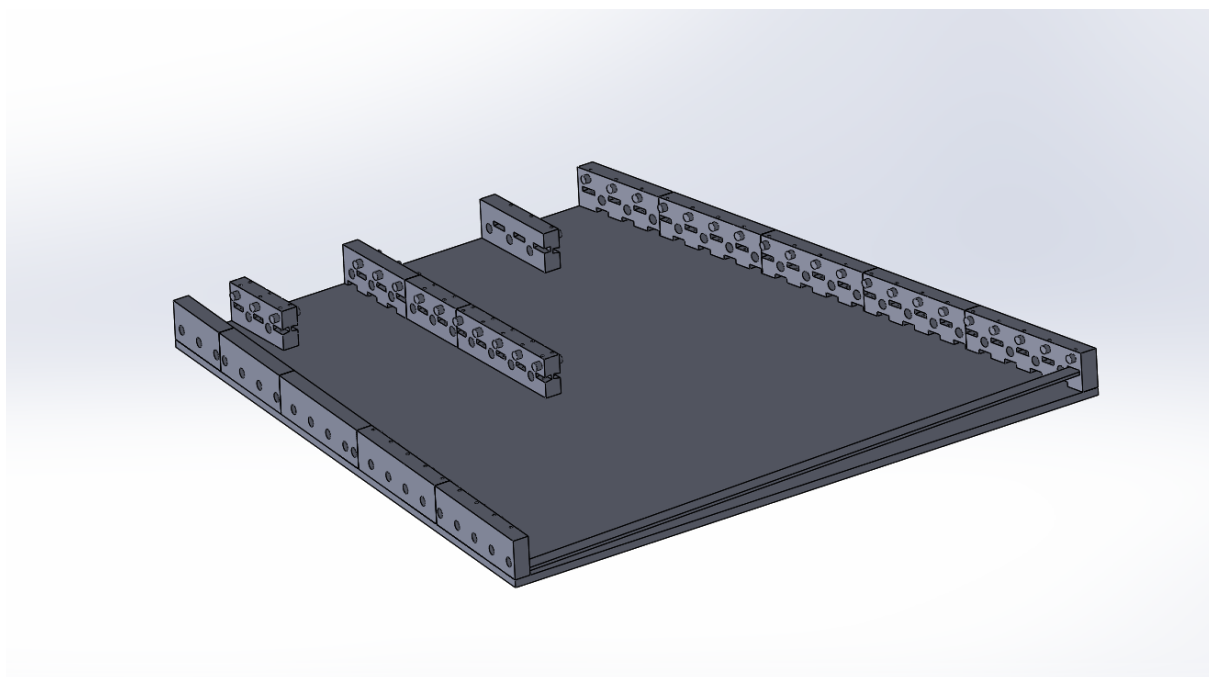
-Struny jsem vyrobil podle předchozího popisu jedné struny, ale s tím rozdílem, že do spodní lišty jsem umístil jen dva polohové spínače umístěné pouze na horní polovině struny, protože spodní polovina je bezdotyková. Tyto spínače, označené A a B, podle předpokládané četnosti sepnutí, jsou umístěny: A (blíže ke středu) B (asi v $\frac{1}{4}$ struny). Vzdálenosti, tedy polohy spínačů jsou u každé struny individuální, přičemž nejkratší struny obsahují pouze spínač A. Mechanické spínače jsou shora velmi natěsno vloženy do děr v liště a zespodu jsou ukotveny připájením do plošných spojů o velikosti potřebné pro připojení drátů ke spínači. Dolní a horní lišty struny jsem na každém konci spojil šroubem s pružinkou. Tímto spojením a dále pak individuální úpravou každé struny jsem získal potřebnou mezeru pro časovou prodlevu mezi sepnutím hlavního a polohových spínačů. Horní, dřevěnou lištu jsem zmenšil na šířku 1 cm, odpovídající šířce gumového izolačního pásku. Tím jsem omezil případný vzájemný kontakt mezi strunami, jenž by byl nežádoucí.

-Potřeba zachovat rozdílný sklon jednotlivých strun, ale i jednotný výškový rozdíl mezi horním a spodním koncem mne dovedla ke dvěma způsobům provedení. Jako kobyliku lze použít dřevěnou kruhovou tyč s průměrem 2 cm a struny napevno přišroubovat k ní. Pak by každá struna s ohledem na svoji délku získala i potřebný sklon, protože na kulaté tyči bude usazena přesně v potřebném úhlu. Takové řešení je však poněkud nevzhledné a co se týče rychlé a snadné demontáže strun i nepraktické.

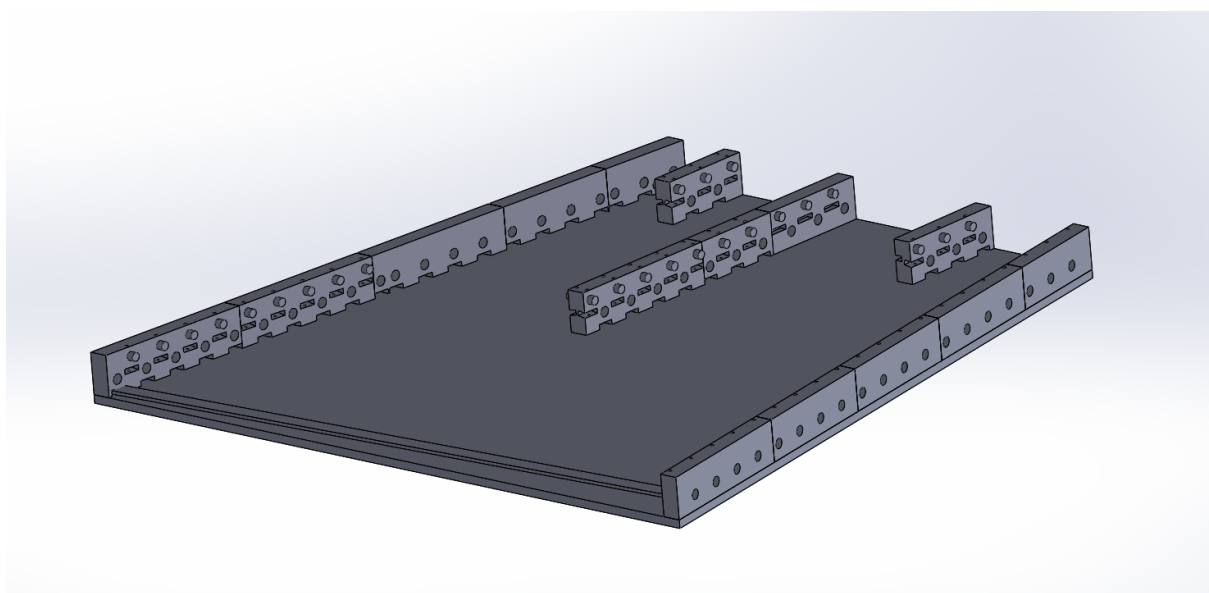
Po dalších úvahách jsem dospěl k názoru, že nelze použít již existující produkt a dle svých potřeb ho přetransformovat na cimbalové uchycení strun, ale že je nezbytné vytvořit vlastní, originální součástku, která bude navržena přímo pro tento účel.

Rozhodl jsem se tedy vymodelovat uchycení strun v programu SolidWorks a vytisknout je na 3D tiskárně, s čímž mi velmi pomohl Matěj Šenk.

a)



b)



Obr. č. 35: a), b) Celkový model a uspořádání dílů pro uchycení strun.

Jedná se o patnáct lehkých, plastových dílů, které kromě uchycení strun v potřebném úhlu a s dostatečným prostorem (1,5 mm), vylučujícím vzájemné ovlivňování obsáhly výsledně i další nezbytné požadavky na jejich funkci. Zde mám na mysli hlavně utěsnění jednoho konce gumové trubice a možnost manipulace s elektretovým mikrofonem na druhém konci. Tyto díly jsou vytištěny z ABS (Akrylonitril-Butadien-Styren), což je pevný a velmi odolný materiál, který má mimo jiné i dobré útlumové vlastnosti, což napomáhá k potlačení nežádoucích zvuků vznikajících úderem paliček do pružných dřevěných strun.

Díly jsou 2 cm široké, 5 cm vysoké a cca 16 - 21 cm dlouhé a mají ve spodní straně díry pro přišroubování k desce. Po stranách mají 1 cm hluboké obdélníkové otvory k uchycení strun. Původně jsem chtěl každý tento otvor navrhnout v potřebném sklonu jednotlivých strun, ovšem takováto modelace by představovala nepřiměřenou časovou zátěž s ohledem na aktuální účel modelu. Rozhodl jsem se tedy pro univerzální tvar, shodný pro horní i spodní konec struny. Tyto otvory jsou projektovány s dostatečnou horizontální i vertikální rezervou pro možnost úpravy směru či sklonu strun. Výškový rozdíl mezi horním a spodním otvorem je podle požadavku 2 cm. K horním otvorům je vyvrtána díra, která slouží k uchycení spodní lišty struny pomocí šroubu. Spodní otvory jsou bez šroubů a fixaci struny zde zajišťuje upevnění dílů k podkladové desce a napnutí dřevěné lišty pod daným úhlem.

Kromě těchto otvorů k uchycení strun jsou po stranách dílů i díry na protažení mikrofonu (průměr 1,2 cm) a centimetr vystupující kolíky (průměr 1 cm). Kolíky jsou nad horními otvory a díry nad spodními.

Protože cimbalové struny nejsou symetricky uspořádány, je každý díl uchycení strun jedinečný a musí být umístěn na správné místo. Většina dílů je krajních. Takové díly mají samozřejmě i protikusy, zrcadlově obrácené, aby bylo možné struny usadit a na jednom (horním) konci gumovou trubicí utěsnit kolíkem a na druhém (spodním) mikrofonem. Některé krajní díly jsou vybaveny pouze spodními kapsami a otvory pro mikrofon, protože v tomto místě se struny nestřídají podle předchozího systému. Jiné, prostřední díly jsou naopak vybaveny všemi již zmíněnými doplňky a to po obou stranách. Protože na cimbále jsou i tři rovné struny (nemají tedy horní a spodní poloviny), bylo nutné vymodelovat speciální díly i pro ně.

Díly byly vytištěny na tiskárně z dílny české firmy Prusa Research s.r.o.. Tato tiskárna umožňuje maximální velikost modelu 25 x 21 x 20 cm, proto se tedy uchycení strun skládá z patnácti dílů. Na větší tiskárně lze tento počet zredukovat pouze na pět dílů. Dva krajové a tři kratší, středové. Výhodou případného menšího počtu větších dílů je pevnost v ploše a lepší rozlišení jednotlivých kusů, což zjednoduší a urychlí montáž.



Obr 36: Jednotlivé díly

Modelování dílů, podle individuálních požadavků jednotlivých strun, bylo časově velmi náročné, ale na druhou stranu, je to konečné řešení pro celkové uchycení strun, které bude upraveno maximálně o drobné změny, vyplývající z testování na prototypu. Možnost tisku těchto dílů během několika hodin tak pro případný další vývoj CIMBELU mnoho času ušetří. Celá snímaná hrací plocha CIMBELU je svým rozměrem a uspořádáním strun téměř totožná s hrací plochou cimbalu, což je zásadním úkolem celého projektu.

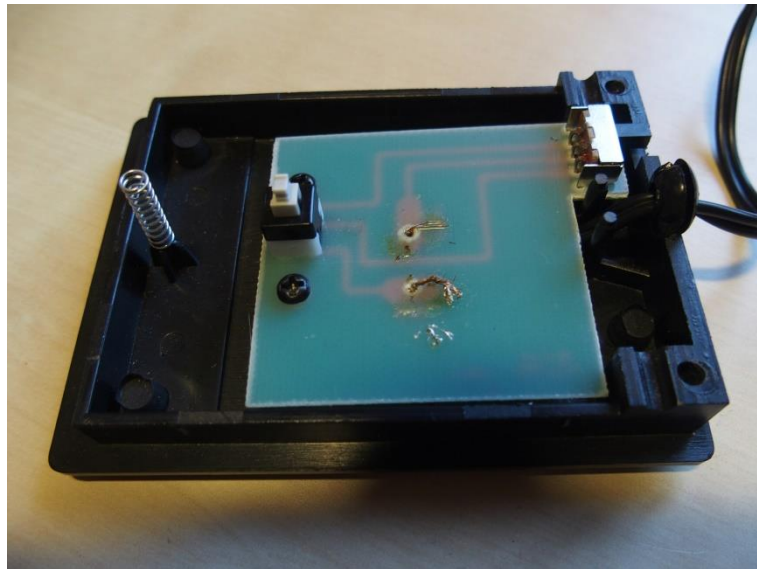
Tab. 1. : Seznam strun a jejich délek

pořad.č	název	d [cm]	pořad.č.	název	d [cm]	pořad.č.	název	d [cm]	pořad.č.	název	d [cm]	pořad.č.	název	d [cm]
1	C	76,5	13	c	70	25	c1	41	37	c2	26	49	c3	16
2	Cis	76,5	14	cis	69,5	26	cis1	37,5	38	cis2	25	50	cis3	11,5
3	D	75,5	15	d	68,7	27	d1	40	39	d2	24	51	d3	12
4	Dis	74,8	16	dis	68,5	28	dis1	36,8	40	dis2	12	52	dis3	12
5	E	74,4	17	e	67,5	29	e1	39,5	41	e2	23	53	e3	12
6	fis	74	18	f	67,5	30	f1	39	42	f2	22,5	54	f3	16
7	Fis	73,2	19	fis	70	31	fis1	38,5	43	fis2	16	55	fis3	6,4
8	gis	72,5	20	g	40,5	32	g1	28,5	44	g2	24	56	g3	11,5
9	Gis	72	21	gis	39,8	33	gis1	38,2	45	gis2	15,5	57	gis3	5,8
10	A	71,5	22	a	39,3	34	a1	27,5	46	a2	23,5	58	a3	5
11	B	71	23	b	38,6	35	b1	37,5	47	b2	15,5			
12	H	70,5	24	h	38	36	h1	27	48	h2	23,5			

4.4 PEDÁL

Použil jsem levný, plastový sustain pedál, jehož schéma je přiloženo. Jeho připojení k nástroji nebude stálé, ale stejně jako cimbalový pedál bude odnímatelný. Standardizovaným konektorem sustain pedálu je TS kabel, pro který je nutné do těla nástroje zabudovat příslušnou zásuvku. Pro lepší vlastnosti lze zakoupit dražší, profesionální sustain pedál, ale pro ovládání prototypu CIMBELU je mnou použitý pedál dostačující.

a)



b)



Obr.č. 37: a), b) Plastový sustain pedál používaný ke keyboardu.

Tímto opatřením jsem zredukoval 58 výstupů na 16. Ohledně připojení multiplexerů však nastal problém. Kvůli již dříve zmíněnému dlouhému vybíjení kondenzátoru C6 hlavního spínače trvalo digitálním multiplexerům příliš dlouho vyhodnocení změny analogového napětí z 1 na 0. Logicky tedy sepnutí struny (1) trvalo tak dlouho, než napětí opět kleslo pod úroveň napětí, kterou multiplexer vyhodnocuje jako 0. Tento problém lze vyřešit připojením komparátoru a jeho vložení do cesty mezi spínač struny a multiplexer. Komparátor je aktivní pouze při stejném a vyšším napětí, jako je jeho referenční. Z tohoto důvodu jsem přidal referenční obvod se stabilizátorem, jehož výstup je přibližně 4V, dá se regulovat potenciometrem a je společný pro všechny komparátory. Přes komparátor ořezané impulzy napětí již multiplexer vyhodnocuje správně. Délka sepnutí (impulzů) je ovlivněna potenciometrem referenčního obvodu. Lze tak snadno upravit snímací parametry nástroje pro individuální potřeby každého hráče. Takové opatření souvisí s rychlostí úderů paliček a jejich správnému zaznamenání.

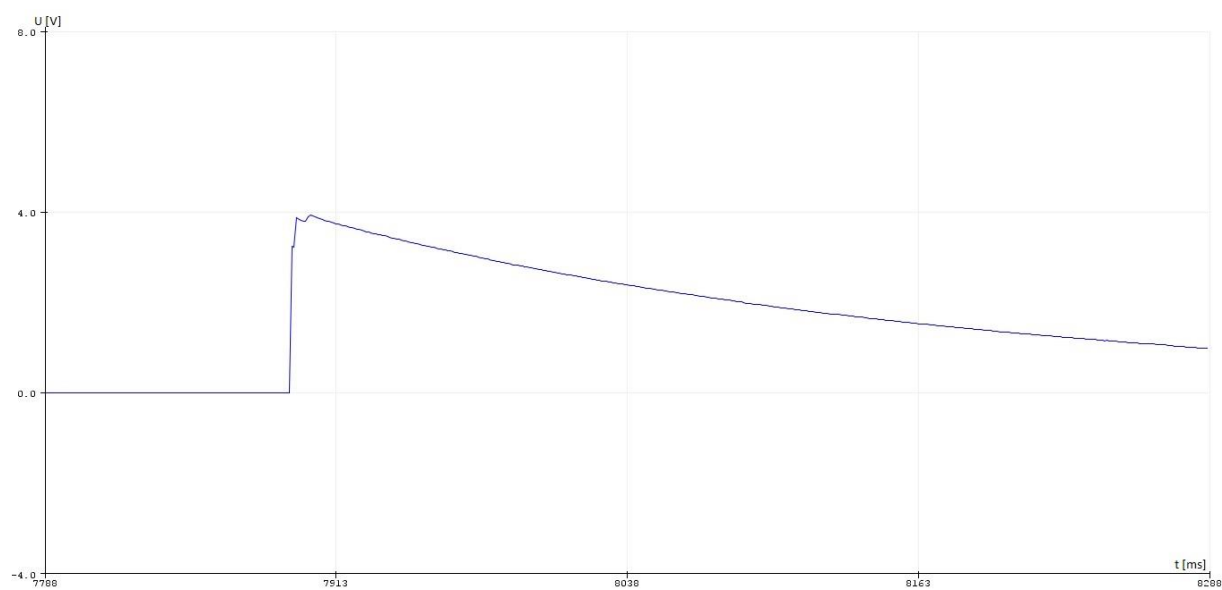
- Mechanické spínače jsou uspořádány do mřížky 16 x 7, tedy šestnáct sloupců a sedm řádků. Každý sloupec je ze zdroje napětí veden na rezistor 10 k Ω , za kterým je vyveden výstup pro Arduino. Odmyslíme-li tento výstup, vede pak sloupec dál a přivádí napětí na mechanické spínače. Ty jsou dále připojeny na řádky mřížky, které jsou přes diodu přivedeny na zem. Výstup ze sloupce tedy indikuje napětí, logickou 1 a při sepnutí spínače dojde k uzemnění, tedy 0. Sloupce jsou uspořádány následovně: Do prvního sloupce je připojen A spínač první struny. Do druhého pak B spínač první struny. Následně až do šestnáctého sloupce, osmé struny. V prvním sloupci jsou tedy jen A spínače strun 1, 9, 17, 25, 33, 41, 49, ve druhém sloupci B spínače týchž strun. Ve třetím sloupci A spínače 2, 10, 18, 26, 34, 42, 50. Tímto principem pokračuje výčet až do šestnáctého sloupce s B spínači strun 8, 16, 24, 32, 40, 48, 58. Kvůli počtu strun a spínačů, ale také kvůli své délce, mají poslední čtyři, nejkratší struny, pouze A spínač.

Protože elektronika je umístěna v lištách po pravé a levé straně nástroje, musel jsem tomu sloupci mřížky přizpůsobit a mřížku rozmístit tak, že sloupce obsahující liché struny, jsou umístěny vlevo a sloupce obsahující sudé struny vpravo.

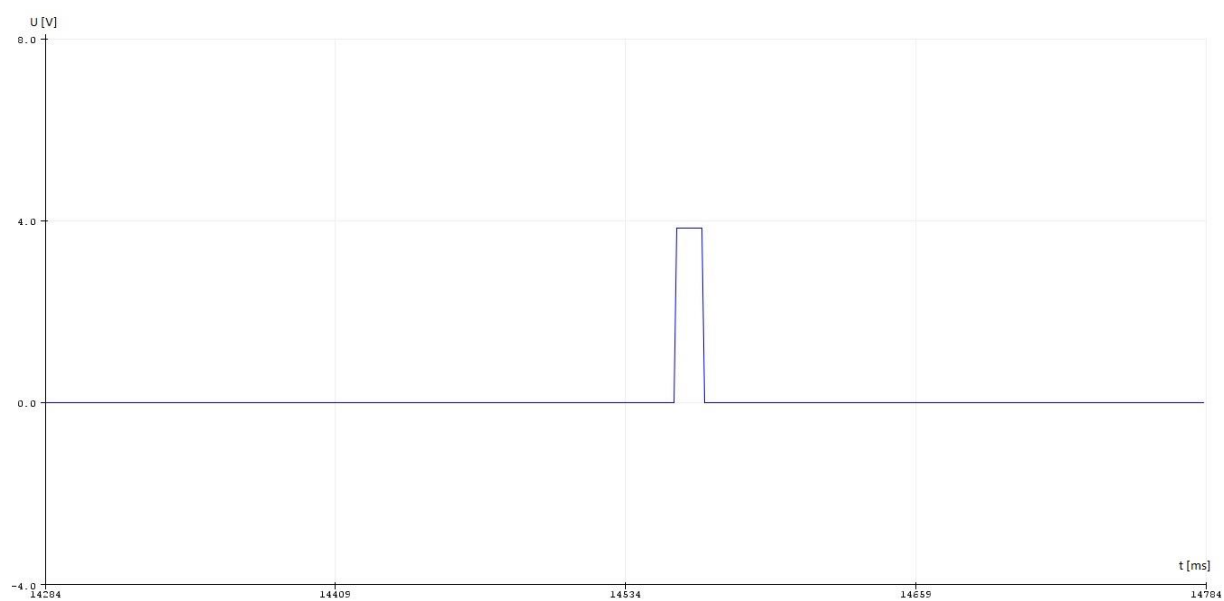
Sedm řádků mřížky je uspořádáno tak, že první řádek obsahuje A i B spínače prvních osmi strun, druhý řádek devátou, až šestnáctou strunu. Tímto principem pokračuje připojení strun až do sedmého řádku mřížky.

Tímto způsobem uspořádání dvou mechanických spínačů 58 strun do mřížky 16 x 7 jsem zredukoval počet výstupů na 16 a to takovým způsobem, že kolega Korytář pracující na převodu na MIDI zpravu pozná, který spínač je sepnut.

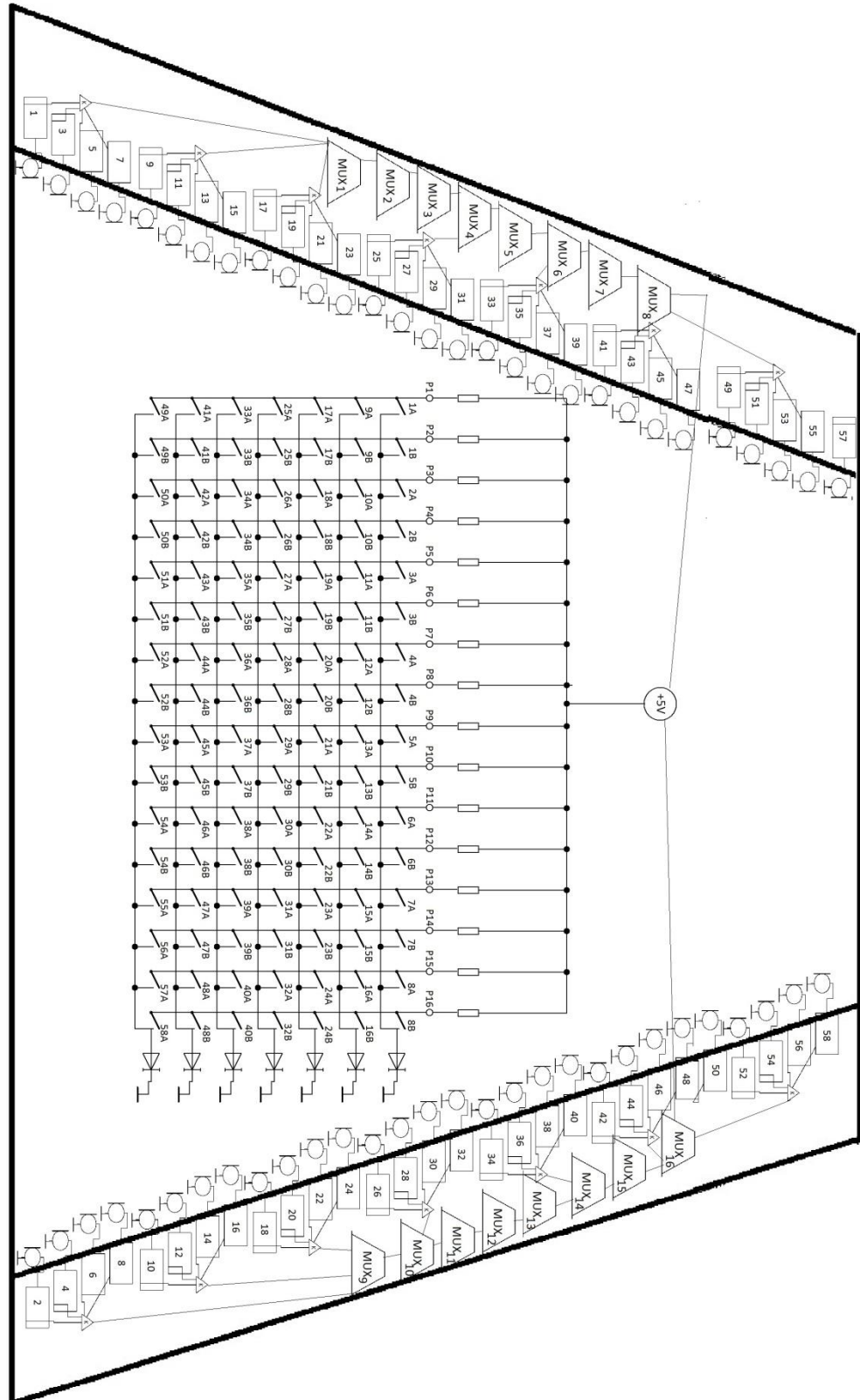
a)



b)



Graf č.1: Průběh sepnutí mikrofonního obvodu: a) bez komparátoru, b) s připojeným komparátorem



Obr.č.39: Uspořádání tlačítkové mřížky, hlavních spínačů a multiplexerů



Obr.č.40: CIMBEL před nasazením poslední oktávy

5 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce jsem zkonstruoval originální hardware hudebního nástroje, jehož hrací plocha se blíží k měřítku jedna ku jedné plochy skutečného cimbálu. Oproti původnímu akustickému nástroji je CIMBEL zkonstruovaný čistě pro účely snímání parametrů vznikajících při simulaci hry na cimbál a jejich převedení na signál, který bude dále vyhodnocován. Svým uspořádáním a funkcí odpovídá základnímu principu umožňujícímu hru na cimbál. V porovnání s téměř devadesátikilovým, 150 cm širokým a 25 cm vysokým (korpus bez nohou) cimbálem CIMBEL váží přibližně 7 kilogramů, je o 40 cm užší a jen 7 cm vysoký. Náklady na výrobu prototypu nepřesáhly částku 13 000,- Kč.

CIMBEL se skládá z šesti různých částí (podkladová deska, dusítka, uchycení strun, struny, elektronika, pedál), které jsou spojené šrouby a dají se jednoduše a rychle vyměnit. Montáž celého nástroje s již připravenými částmi, odhaduji na několik hodin. Výrobu všech částí pak počítám přibližně na sedm týdnů každodenní, intenzivní práce. Celý projekt CIMBELU má dobré předpoklady pro uvedení na trh, protože zde existuje poptávka, žádající nástroj takových vlastností. Před tímto krokem je ale potřeba nástroj otestovat a následně zjištění zpracovat do konečných úprav. Testování nástroje bude svěřeno hlavně cimbalistům, tedy lidem, pro něž je určen a jejichž požadavkům a potřebám musí konečná verze CIMBELU vyhovovat.

RESUME

In the bachelor thesis I designed original hardware of a musical instrument, which has playing area of scale close to one to one of the area of the actual cimbalom. Compared to the original acoustic instrument, CIMBEL is designed purely for the purpose of sensing the parameters that incipient from simulation of playing the cimbalom and converting them to a signal that will be further evaluated. Its layout and function corresponds to the basic principle of playing a cimbalom. Compared to the nearly 90 kilograms weighing, 150 cm wide and 25 cm high (corpus without feet) cimbalom, the CIMBEL weighs about 7 kilograms, is 40 cm narrower and only 7 cm tall. The cost of prototype production did not exceed 13,000 CZK. CIMBEL consists of six different parts (base board, dampers, strings attachment, strings, electronics, sustain pedal) that are connected together with screws and can be easily and quickly replaced. My estimate for assembly of the whole instrument with already prepared parts, is several hours. The production of all parts would then take approximately seven weeks of intensive, everyday work. The entire CIMBELU project has good prerequisites for placing on the market, because there is a demand for it. Before this step, however, it is necessary to test the tool. Testing of the instrument will be entrusted mainly to the cimbalists, the people for whom it is designed and whose requirements and needs the final version of CIMBEL has to meet.

6 SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] SCHOLES, Percy Alfred, KENNEDY, Michael (ed.). *The Oxford companion to music* [online]. 2nd ed., 2006. London: Oxford University Press, 2006 [cit. 2016-11-30]. Oxford Books of Music. Dostupné z: http://www.oxfordmusiconline.com.proxy.mzk.cz/subscriber/article/opr/t237/e2162?goto=cimbal&start=1&source=omo_t237&pos=1.
- [2] MODR, Antonín. *Hudební nástroje*. [1. vyd.]. Praha: Editio Bärenreiter, 2002. ISBN 978-80-86385-12-9.
- [3] KURFÜRST, Pavel. *Hudební nástroje*. Praha: TOGGA, 2002. ISBN 80-902912-1-X.
- [4] KÁČER, Jan. *Cimbál a cimbalisté na Uherskohradištsku* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/216677/ff_m/
Diplomová práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. Vedoucí práce Martina Pavlicová.
- [5] VLACHÝ, Václav. *Praxe zvukové techniky*. 3., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Muzikus, c2008. ISBN 978-80-86253-46-6.
- [6] SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 2., dopl. vyd. V Praze: Akademie múzických umění, 2008. Akustická knihovna Zvukového studia Hudební fakulty AMU. ISBN 9788073311278.
- [7] HOLCOVÁ, Kateřina. *Konstrukční vývoj cimbalu na Moravě* [online]. Olomouc, 2014 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://theses.cz/id/0m76b4/>
Diplomová práce. Palackého Univerzita Olomouc, Filozofická fakulta. Vedoucí práce Doc. PhDr. Jiří Kopecký, Ph.D.
- [8] Cimbaly. *Cimbaly.cz* [online]. Brno, 2008 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://cimbaly.cz/cimbaly/>.
- [9] Holak. *Holak.cz* [online]. Palkovice Myslík, 2017 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://holak.cz/index.html>.
- [10] Midicimbalom. *MIDICIMBALOM* [online]. Brno: estranky.cz, 2016 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.midicimbalom.estranky.cz/>.
- [11] Arduino. *Arduino* [online]. New York, 2005 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>.
- [12] PĚNKAVA, Jan. Zvukový spínač a zvukový směšovač. *Rádio plus KTE: magazín elektroniky* [online]. Praha 8, 2001, IX(7), 3 [cit. 2017-06-05]. ISSN 212-3 730. Dostupné z: <http://www.elektrizator.cz/kte/2001/0701.pdf>.
- [13] Potleskový spínač: PT028, stavebnice. *Tipa* [online]. Opava-Předměstí, 2008 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.stavebnice.postreh.com/select.php?link=Pt028>.
- [14] LANGHAMMER, Luboš. Jednoduchý obvod pro detekci zvuku. *PICAXE magazín: občasník pro uživatele mikrokontrolérů PICAXE* [online]. 2011, (2), 2 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.hobbyrobot.cz/wp-content/uploads/PXM1102.pdf>.
- [15] Georg Fisher: katalog produktů. *Tribon: plastové potrubní systémy* [online]. Schaffhausen: MediaCockpit, 2005 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: http://www.georgefisher.cz/produkty/materialy/abs-akrylonitril_butadien_styren

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, VELIČIN A SYMBOLŮ

ABS	-	Akrylonitrilbutadienstyren
CIMBEL	-	Název projektu
C6	[F]	Kondenzátor
I_0	[A]	Proud
MIDI	-	Digitální rozhraní hudebního nástroje
P_0	[W]	Výkon
PC	-	Počítač
PNP	-	Typ tranzistoru
PVC	-	Polyvinylchlorid
RCA	-	Audio konektor
R3	[Ω]	Rezistor
TS	-	Mono audio konektor
TRS	-	Stereo audio konektor
T1, T2	-	Tranzistor
U	[V]	Napětí
U_R	[V]	Referenční napětí
U_1	[V]	Vstupní napětí
USB	-	univerzální sériová sběrnice
3D	-	Trojrozměrný

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. č. 1 *Vyřezávaný cimbál značky Schunda.*
- Obr. č. 2 *Malý, přenosný cimbálek s ozvučnými rozetami od firmy Holak.*
- Obr. č. 3 *Malý, přenosný cimbálek s ozvučnými rozetami od firmy Holak.*
- Obr. č. 4 *Light cimbál z dílny Pavla Všianského. Jeho váhu se podařilo snížit na cca 50kg*
- Obr. č. 5 *Light cimbál z dílny Pavla Všianského. Jeho váhu se podařilo snížit na cca 50kg*
- Obr. č. 6 *Standardizovaná podoba rozmístění tónů klasického cimbálu s rozsahem C-a3*
- Obr. č. 7 *Menzura velkého maďarského cimbálu značky Bohák. Rozmístění strun je nejrozšířenější model uspořádání tónů.*
- Obr. č. 8 *Rezonanční skříň. Dřevěné válečky jsou duše přenášející rezonanci. Pancíř a jeho tyče sloužící jako rozpora pro količnik.*
- Obr. č. 9 *Žebrování rezonanční desky.*
- Obr. č. 10 *Závěsné kolíky se strunovým okem, na kašmírové podložce.*
- Obr. č. 11 *Ladicí kolíky s navinutými strunami a ladicí klikou. Ta funguje jako klíč k utahování šroubů.*
- Obr. č. 12 *Kobylky před nasazením pražců.*
- Obr. č. 13 *a) hladké struny, b) opřádené struny*
- Obr. č. 14 *Dusítkový hřeben levé strany. Na pravé straně protikus, zatlumující zde volné struny.*
- Obr. č. 15 *Pero zajišťující zpětný pohyb dusítek na struny.*
- Obr. č. 16 *Pohled zespodu na pedálovou mechaniku s uchycenou lyrou a drátem přenášejícím tah pedálu.*
- Obr. č. 17 *Na obrázku lze vidět celou spodní část cimbálu s pedálovou lyrou.*
- Obr. č. 18 *Cimbálové paličky obalené vatou. Při hře dnes nejvíce využívaný typ.*
- Obr. č. 19 *Celodřevěné paličky pro výraznější zvuk nástroje.*
- Obr. č. 20 *Velký cimbál, bez výřezby, z dílny Pavla Všianského. Uzamykatelné víko, které je dnes běžně používaným doplňkem ke klasickému cimbálu, je přichyceno na dvou pantech, které jsou oba zásuvné. Je tedy snadné víko odejmout.*

- Obr. č. 21 *Schéma zapojení snímače a jeho umístění pod strunami.*
- Obr. č. 22 *Konstrukční provedení snímače se strunami. Hlasitost je ovládána otočným potenciometrem.*
- Obr. č. 23 *Schéma zapojení laserové závory. Na vstupu A0 Arduino zaznamenává hladinu napětí a její pokles při přerušení paprsku. Pro jednoduchost připojení laseru je použit RCA (CINCH) konektor a RCA-TS kabel.*
- Obr. č. 24 *Konstrukční provedení laserové struny. Vlevo Arduino Uno a krabička s fotorezistorem, vpravo laser. Kontaktní guma z kláves zde slouží jako vizuální pomůcka k určení struny a zároveň zlepšuje odskok paliček.*
- Obr. č. 25 *Schéma zapojení hlavního a polohových spínačů (PS), vložených mezi dřevěné lišty. Na analogových vstupech Arduina (A0 až A3) je zaznamenáváno sepnutí spínačů.*
- Obr. č. 26 *Konstrukční provedení spínací struny. Pravá strana je připevněna na pantu, levá se pohybuje.*
- Obr. č. 27 *Detail hlavního pákového spínače, krajního polohového spínače a uchycení struny pomocí šroubů.*
- Obr. č. 28 *Midicimbalom p. Otrísala. Struny nemají sklon, dynamiku a určení místa dopadu.*
- Obr. č. 29 *Konstrukční provedení s polohovými spínači a přilepeným izolačním páskem na horní straně struny.*
- Obr. č. 30 *Profil pásku s lepící stranou.*
- Obr. č. 31 *Schéma stovebnice zvukového spínače KTE 515.*
- Obr. č. 32 *Schéma PT028 udávané výrobcem*
- Obr. č. 33 *Schéma PXMI102*
- Obr. č. 34 *Kabelážní lišta.*
- Obr. č. 35 *Celkový model a uspořádání dílů pro uchycení strun.*
- Obr. č. 36 *Jednotlivé díly*
- Obr. č. 37 *Plastový sustain pedál používaný ke keyboardu.*
- Obr. č. 38 *Schéma sustain pedálu v zapojení s Arduinem. Na analogovém vstupu A0 je čteno napětí procházející přes pedál. Je-li spínač S1 sepnut (pedál sešlápnut), je na A0 zaznamenán nárůst napětí.*
- Obr. č. 39 *Uspořádání tlačítkové mřížky, hlavních spínačů a multiplexerů*
- Obr. č. 40 *CIMBEL před nasazením poslední oktávy*

9 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK A GRAFŮ

Tab. č. 1

Seznam strun a jejich délek

Graf č. 1

*Průběh sepnutí mikrofonního obvodu: a) bez komparátoru,
b) s připojeným komparátorem*

10 PŘÍLOHY ULOŽENÉ NA CD

Příloha č. 1

*Projekt programu SolidWorks s modelem
dílů uchycení strun pro tisk na 3D tiskárně*