



# 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

## SNÍMAČ PRO KAMENY BICÍCH MELODICKÝCH NÁSTROJŮ

SENSOR FOR BARS OF Mallet PERCUSSION INSTRUMENTS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Sebastián Pribol

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek,  
Ph.D.

BRNO 2024



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**  
specializace Zvuková produkce a nahrávání  
Ústav telekomunikací

**Student:** Sebastián Pribol

**ID:** 240197

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2023/24

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Snímač pro kameny bicích melodických nástrojů**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Student navrhne a vyrobí dynamické snímače nejméně pro jednu oktávu kamenů buď marimby, nebo xylofonu nebo vibrafonu. Bude se soustředit na to, aby snímače snímaly co nejširší dynamický rozsah kamenu, a přitom dotekem či jinak, nezměnily původní barvu kamenů. Zváží i místo snímání vzhledem k požadované dynamice i to, že by snímače měly jít namontovat na běžnou marimbu, xylofon či vibrafon. Odečtenou dynamiku převede přes převodník do formy MIDI tak, aby k ní bylo možno připojit VTS databanku zvuků.

V semestrální práci student vytvoří základní koncept snímače alespoň u jednoho kamenu, vyzkouší jeho pilotní režim a bude dokladovat jeho funkčnost a vlastnosti.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] FLETCHER, Neville H., ROSSING, Thomas D. The Physics of Musical Instruments, Second Edition, Springer, © 1998 Springer Science+ Business Media New York Originally published by Springer Science+ Business Media, Inc. in 1998 Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1998, ISBN 978-1-4419-3120-7 [2] CHAIGNE, Antoine, KERGOMARD Jean. Acoustics of Musical Instrument, Springer-Verlag New York 2016, 2364-4923

**Termín zadání:** 5.2.2024

**Termín odevzdání:** 28.5.2024

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

**doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### **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.

## **Abstrakt**

Táto práca sa zaoberá problematikou snímania melodických bicích nástrojov pomocou dynamických snímačov, ktoré je možné pripojiť na hudobný nástroj. Obsahuje teoretické poznatky, analýzu a výber vhodného snímania a samotnou implementáciou, ktorá je zložená z testovania, integrácie s MIDI, výroby samotného zariadenia a finálnej kalibrácie a úpravami pre správnu funkčnosť. V zariadení je použitý mikrokontrolér ESP32-S3 Dev Kit N8R8, ktorý bol pre správnu funkciu naprogramovaný v programe Arduino IDE. Zariadenie sa skladá z dvanástich piezoelektrických snímačov, ktoré snímajú dynamiku hry na hudobný nástroj a pomocou Bluetooth modulu posielajú MIDI informácie do DAW.

## **Klíčová slova**

Arduino, DAW, ESP32, Logic Pro, marimba, melodické bicie nástroje, MIDI, piezoelektrický snímač

## **Abstract**

This thesis addresses the issue of capturing melodic percussion instruments using dynamic sensors that can be attached to a musical instrument. It includes theoretical knowledge, analysis, and selection of appropriate sensing methods, and the actual implementation, which consists of testing, integration with MIDI, manufacturing of the device itself, and final calibration and adjustments for proper functionality. The device uses an ESP32-S3 Dev Kit N8R8 microcontroller, which was programmed in the Arduino IDE for proper operation. The device consists of twelve piezoelectric sensors that capture the dynamics of playing the musical instrument and send MIDI information to a DAW via a Bluetooth module.

## **Keywords**

Arduino, DAW, ESP32, Logic Pro, marimba, melodic percussion instruments, MIDI, piezoelectric sensor

## **Bibliografická citácia**

PRIBOL, S. *Snímač pro kameny bicích melodických nástrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2024. 68 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: MgA. et Mgr. Ondřej Jirásek, Ph.D.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	<i>Sebastián Pribol</i>
<b>VUT ID studenta:</b>	<i>240197</i>
<b>Typ práce:</b>	<i>Bakalářská práce</i>
<b>Akademický rok:</b>	<i>2023/24</i>
<b>Téma závěrečné práce:</b>	<i>Snímač pro kameny bicích melodických nástrojů</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 27.05.2024

-----  
podpis autora

## **Pod'akovanie**

Rád by som poďakoval vedúcemu mojej bakalárskej práce pánovi MgA. et Mgr. Ondřejovi Jiráskovi, Ph.D. za poskytnutie odborných informácií a pomôcok potrebných k uskutočneniu tejto bakalárskej práce. Taktiež sa chcem poďakovať pánovi Filipovi Zázvorkovi za jeho ochotu a možnosť testovania zariadenia s jeho pomocou v priestoroch Janáčkovej akadémie múzických umení v Brne.

V Brně dne: 27.05.2024

-----  
podpis autora

# Obsah

<b>1. TEORETICKÉ POZNATKY</b> .....	<b>11</b>
1.1 MELODICKÉ BICIE NÁSTROJE .....	11
1.1.1 Klasifikácia .....	11
1.1.2 Typy melodických bicích nástrojov .....	11
1.2 MARIMBA .....	12
1.2.1 Časti marimby .....	13
1.3 MIKROKONTROLÉRY A ELEKTRONICKÉ KOMPONENTY .....	15
1.3.1 Arduino Uno Rev 3.....	15
1.3.2 ESP32-S3 Dev Kit N8R8.....	18
1.3.3 Multiplexor.....	20
1.3.4 CD74HC4067.....	21
1.4 LOGIC PRO .....	24
1.5 MIDI (MUSICAL INSTRUMENT DIGITAL INTERFACE) .....	25
1.5.1 Ovládanie nástrojov.....	25
1.5.2 Kompozícia.....	26
1.5.3 Počítačové súbory .....	27
1.5.4 Prevod audio signálu do MIDI v DAW.....	27
1.5.5 Buffer Size .....	28
<b>2. SPÔSOBY SNÍMANIA</b> .....	<b>29</b>
2.1 OPTICKÉ SNÍMAČE .....	29
2.1.1 Silent Piano System .....	29
2.2 AKCELEROMETRE A GYROSKOPY .....	29
2.3 PIEZOELEKTRICKÉ SNÍMAČE .....	30
2.3.1 Piezoelektrický snímač Harley Benton HB-T.....	31
2.4 SNÍMANIE MIKROFÓNOM .....	31
2.4.1 Mikrofón sE Electronics SE7 .....	31
<b>3. NAHRÁVANIE A ANALÝZA</b> .....	<b>34</b>
3.1 MERANIE DYNAMICKÉHO ROZSAHU .....	34
3.1.1 RMS Loudness.....	34
3.1.2 Note Velocity.....	36
3.2 MERANIE TLMENIA KAMEŇOV PIEZOELEKTRICKÝM SNÍMAČOM.....	40
3.2.1 Bez rezonátoru .....	40
3.2.2 S rezonátorom .....	42
<b>4. IMPLEMENTÁCIA</b> .....	<b>44</b>
4.1 ZAPOJENIE A TESTOVANIE .....	44
4.1.1 Arduino Uno Rev 3 a 74HC4067 multiplexor.....	44
4.1.2 ESP32-S3 Dev Kit N8R8.....	47
4.2 INTEGRÁCIA S MIDI .....	51
4.2.1 Arduino Uno Rev 3 a 74HC4067 multiplexor.....	51
4.2.2 ESP32-S3 Dev Kit N8R8.....	52
4.3 VÝROBA SNÍMAČA .....	54
4.4 KALIBRÁCIA .....	56

5.	ZÁVER.....	57
6.	OBSAH ELEKTRONICKEJ PRÍLOHY.....	61



# ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1.1 Porovnanie spektier marimby a xylofonu, prevzaté z [1] .....	12
Obrázok 1.2 Módy kameňov marimby, prevzaté z [2] .....	13
Obrázok 1.3 Časti marimby, prevzaté z [3] .....	14
Obrázok 1.4 Fotografia Arduino Uno Rev 3.....	17
Obrázok 1.5 Arduino Uno Rev 3 – Pinout, prevzaté z [9].....	17
Obrázok 1.6 Fotografia ESP32-S3 Dev Kit N8R8.....	19
Obrázok 1.7 ESP32-S3 Dev Kit N8R8 – Pinout, prevzaté z [10].....	20
Obrázok 1.8 Princíp multiplexora, prevzaté z [11] .....	21
Obrázok 1.9 Pravdivostná tabuľka, prevzaté z [12].....	22
Obrázok 1.10 CD74HC4067, prevzaté z [12].....	23
Obrázok 1.11 Screenshot Piano roll s Note Velocity v DAW (Logic Pro).....	26
Obrázok 2.1 Piezoelektrický efekt, prevzaté z [18] .....	30
Obrázok 2.2 Harley Benton HB-T, prevzaté z [20] .....	31
Obrázok 2.3 Mikrofón SE7, prevzaté z [22].....	33
Obrázok 2.4 Frekvenčná s smerová charakteristika mikrofónu SE7, prevzaté z [22] .....	33
Obrázok 3.1 Fotografia paličky, tónu a <sup>#1</sup> (menší) a tónu c <sup>1</sup> (väčší).....	34
Obrázok 3.2 Tón c <sup>1</sup> , hlasitosť a zvukové vlny (WaveLab Pro 11) .....	35
Obrázok 3.3 Tón c <sup>1</sup> , analýza hlasitosti (WaveLab Pro 11) .....	35
Obrázok 3.4 Tón a <sup>#1</sup> , hlasitosť a zvukové vlny (WaveLab Pro 11) .....	35
Obrázok 3.5 Tón a <sup>#1</sup> , analýza hlasitosti (WaveLab Pro 11) .....	36
Obrázok 3.6 Tón c <sup>1</sup> , minimálna Note Velocity (Logic Pro) .....	37
Obrázok 3.7 Tón c <sup>1</sup> , maximálna Note Velocity (Logic Pro).....	37
Obrázok 3.8 Tón a <sup>#1</sup> , minimálna Note Velocity (Logic Pro) .....	38
Obrázok 3.9 Tón a <sup>#1</sup> , maximálna Note Velocity (Logic Pro).....	39
Obrázok 3.10 Meranie bez rezonátoru, tón c <sup>1</sup> s nalepeným piezoelektrickým snímačom.....	40
Obrázok 3.11 Frekvenčné spektrum, tón c <sup>1</sup> s nalepeným piezoelektrickým snímačom .....	40
Obrázok 3.12 Frekvenčné spektrum, tón c <sup>1</sup> bez piezoelektrického snímača .....	40
Obrázok 3.13 Frekvenčné spektrum, tón a <sup>#1</sup> s nalepeným piezoelektrickým snímačom.....	41
Obrázok 3.14 Frekvenčné spektrum, tón a <sup>#1</sup> bez piezoelektrického snímača .....	41
Obrázok 3.15 Meranie s rezonátorom, tón c <sup>1</sup> s nalepeným piezoelektrickým snímačom .....	42
Obrázok 3.16 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón c <sup>1</sup> s nalepeným piezoelektrickým snímačom .....	42
Obrázok 3.17 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón c <sup>1</sup> bez piezoelektrického snímača .....	43
Obrázok 3.18 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón a <sup>#1</sup> s nalepeným piezoelektrickým snímačom .....	43
Obrázok 3.19 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón a <sup>#1</sup> bez piezoelektrického snímača .....	43
Obrázok 4.1 Fotografia zapojenia Arduina s multiplexorom.....	45
Obrázok 4.2 Zdrojový kód pre použitie Arduina s multiplexorom v Arduino IDE.....	46
Obrázok 4.3 Fotografia zapojenia s ESP32-S3 DevKit N8R8.....	48
Obrázok 4.4 Zdrojový kód pre použitie ESP32 v Arduino IDE .....	49
Obrázok 4.5 Printscreen z Arduino IDE .....	50
Obrázok 4.6 Screenshot z MIDI Bluetooth Configuration .....	53
Obrázok 4.7 Screenshot z Logic Pro, MIDI zariadenia .....	53
Obrázok 4.8 Fotografia naspajkovaného zariadenia .....	54
Obrázok 4.9 Návrh krabičky z programu SolidWorks.....	55
Obrázok 4.10 Fotografia finálneho zariadenia.....	55
Obrázok 4.11 Fotografia inštalácie zariadenia na marimbu.....	56

# ÚVOD

V súčasnej dobe, kde technológie a umenie stále viac a viac prechádzajú digitálnou transformáciou, je integrácia tradičných hudobných nástrojov s modernými digitálnymi technológiami kľúčová pre inováciu a rozvoj hudobného priemyslu.

Táto práca sa zameriava na vývoj a implementáciu dynamického snímača pre kamene melodických bicích nástrojov, konkrétne marimby, s cieľom dosiahnuť čo najširší dynamický rozsah bez zmeny pôvodnej farby tónu. Hlavným cieľom projektu je vytvoriť snímač, ktorý dokáže presne zachytiť dynamiku hry na marimbe a previesť tieto informácie do formy MIDI správ, ktoré môžu byť následne spracované v digitálnej audio pracovnej stanici (DAW) Logic Pro.

Dokumentácia projektu obsahuje teoretické poznatky potrebné pre pochopenie problematiky. Vysvetlené boli oblasti tém ako melodické bicie nástroje, marimba, mikrokontroléry a elektronické komponenty použité v tejto práci, Logic Pro a MIDI. V ďalšej kapitole sú spomenuté rôzne spôsoby snímania melodických bicích nástrojov a spomínaná je aj konkrétna technika použitá v nasledujúcej kapitole, ktorá sa venuje nahrávaniu a celkovej analýze vhodnosti použitia piezoelektrického snímania marimby. Nahrávané a analyzované boli tóny  $a^{#1}$  a  $c^1$ . Delí sa na meranie dynamického rozsahu a meranie tlmenia kameňov piezoelektrickým snímačom. Táto analýza bola vykonávaná ako časť semestrálnej práce a poskytla potrebné informácie pre pokračovanie v tejto práci.

Ďalšia kapitola obsahuje samotnú implementáciu a výrobu výsledného zariadenia, ktorá je detailne popísaná a slúži ako návod. Je v nej najprv popis hardvérového zapojenia. Najprv to bola kombinácia mikrokontroléru Arduino Uno Rev 3 s multiplexorom CD74HC4067. Následne bol vybraný výhodnejší spôsob pomocou mikrokontroléru ESP32-S3 Dev Kit N8R8, ktorý bol nakoniec aj použitý vo výslednom zariadení vďaka mnohým výhodám spomenutým v tejto kapitole. Ďalej je vysvetlený postup pri programovaní v programe Arduino IDE, integrácia s MIDI pre oba spôsoby, výroba samotného zariadenia, krabičky, a nakoniec finálna kalibrácia.

V závere sú uvedené výsledky a možnosti ďalšieho vylepšenia systému, čím sa táto práca stáva užitočným zdrojom pre ďalší výskum a vývoj v oblasti hudobných technológií. Výsledkom je systém, ktorý umožňuje hudobníkom využiť výhody digitálnej hudby a technológií pri zachovaní prirodzeného pocitu a dynamiky hry na tradičných nástrojoch. Táto integrácia otvára nové možnosti pre tvorbu a nahrávanie hudby, pričom poskytuje flexibilitu a rozšírené možnosti úprav a spracovania zvuku.

# 1. TEORETICKÉ POZNATKY

## 1.1 Melodické bicie nástroje

Melodické bicie nástroje zahŕňajú rôznorodú skupinu nástrojov, ktoré vydávajú tóny a melódie. Sú kľúčové pri pridávaní harmonickej štruktúry a melodického obsahu do hudobných kompozícií.

Melodické bicie nástroje významne prispievajú k hudobným kompozíciám tým, že poskytujú melódie, harmónie a tónovú rozmanitosť, čím umocňujú celkový hudobný zážitok v rôznych žánroch a prostrediach.

Hrá sa na ne prevažne paličkami, ale existuje mnoho iných techník hry. Nástroje obsahujú drevené alebo kovové kamene, kde každý z nich má iný tón.

### 1.1.1 Klasifikácia

Hlavné členenie melodických nástrojov je do skupín idiofonov a membránofonov.

Do kategórie idiofonov patrí väčšina melodických bicích nástrojov, ktoré produkujú zvuk vibráciami samotného nástroja pri údere, trasení alebo škrabaním.

Môžeme ich ďalej klasifikovať na základe materiálu, z ktorého sú vyrobené (drevo, kov alebo syntetické materiály), a ich konštrukcie.

Aj keď sa membránofony najčastejšie spájajú s bubnami, ktoré vydávajú nevýškové zvuky, niektoré membránofony, ako napríklad ladené tympány, môžu vydávať špecifické výšky tónov a považujú sa za melodické.

### 1.1.2 Typy melodických bicích nástrojov

Poznáme 2 typy melodických bicích nástrojov z hľadiska materiálu, z ktorého sú nástroje vyrobené. A to drevené a kovové.

K dreveným nástrojom patrí napríklad xylofón, marimba alebo zvonkohra, kde xylofón a marimba majú drevené kamene s rozdielom, že marimba má zvyčajne širší a teplejší zvuk. Čo sa týka zvonkohry, tá má kovové kamene podobné xylofónu, ale tým, že sú kovové, vydávajú vyššie tóny.

Ku kovovým nástrojom patrí vibrafón, ktorý má kovové kamene obohatené vibráto efektom, ktorý sa vytvára otáčaním diskov v rezonátoroch. Ďalej do tejto kategórie patria zvony, ktoré obsahujú dlhé kovové rúrky naladené na určité výšky tónov.

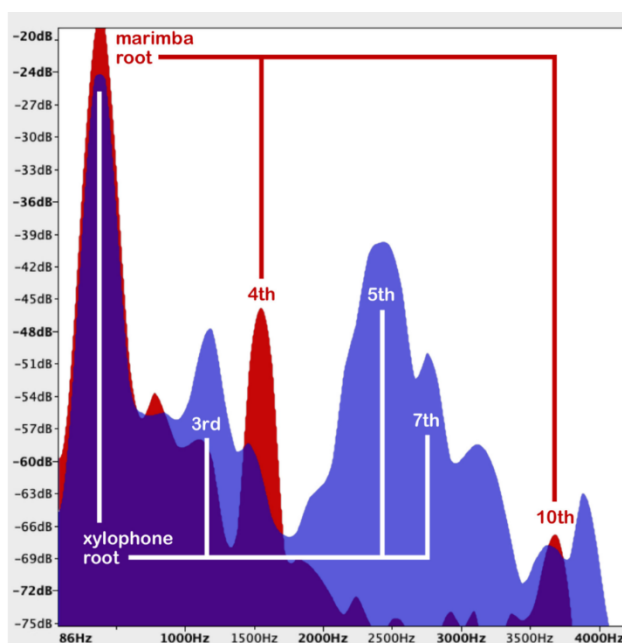
## 1.2 Marimba

Marimba je bicí nástroj, ktorý patrí do skupiny idiofónov, konkrétne do podskupiny klávesových bicích nástrojov.

Na marimbu sa hrá sa paličkami, ktoré sú zvyčajne vyrobené z gumy alebo priadze na úderovom konci a majú rôznu stupeň tvrdosti. Interpreti používajú rôzne paličky na dosiahnutie odlišných tónov a dynamiky.

Čo sa týka zvuku marimby, má teplý, mäkký a rezonančný tón. Kvalita zvuku sa môže líšiť v závislosti od druhu dreva použitého na výrobu tyčí a rezonátorov. Marimba pokrýva širokú škálu tónov, od basového registra až po vyššie registre, čo umožňuje tvorbu melódií a harmónií. Rozsah môže byť od 4 do 5 oktáv. Skúsení interpreti dokážu zvýrazniť nuansy v dynamike, artikulácii a tónových farbách, vďaka čomu je nástroj veľmi expresívny.

Má inharmonické spektrum a je ladená na párnych harmonických, s ladením na fundamente, štvrtj harmonickej a desiatej harmonickej zložke.



Obrázok 1.1 Porovnanie spektier marimby a xylofonu, prevzaté z [1]

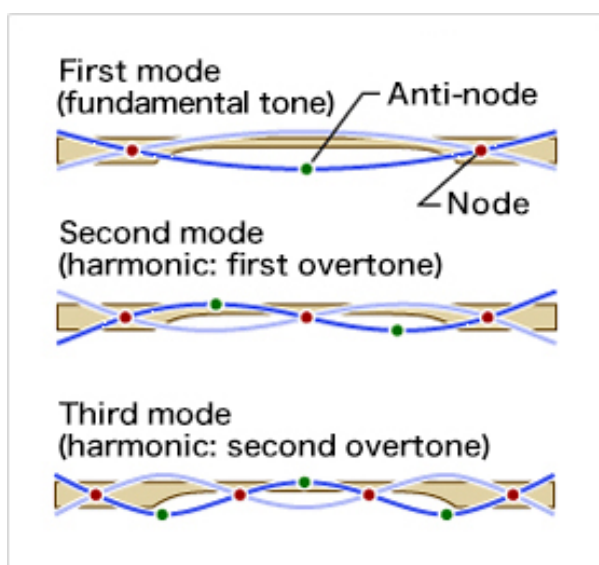
Hra na marimbe je bežne využívaná v bicích súboroch a orchestroch, kde ponúka melodickú a harmonickú podporu, ale je určite možné aj sólové hudobné využitie.

Pôvod marimby siaha do strednej a južnej Ameriky, najmä v Guatemale a Mexiku, kde má bohaté kultúrne dedičstvo. Má svoje korene v tradičnej hudbe, ale našla si svoje miesto v rôznych hudobných žánroch vrátane klasickej, jazzovej, súčasnej a pop music.

### 1.2.1 Časti marimby

**Oscilátory:** Kamene sú primárne prvky marimby a fungujú ako oscilátory zvyčajne vyrobené zo starostlivo vybraných tvrdých drevín, ako je palisander, padauk, alebo zo syntetických materiálov, ako je sklolaminát alebo kelon. Kamene sú usporiadané v chromatickej stupnici, podobne ako klaviatúra klavíra, pričom každý kameň predstavuje iný tón.

Pri každom údere paličkou sa kameň rozkmitá rôznymi spôsobmi. Na obrázku je schéma, ktorá zobrazuje, ako to funguje. V rámci každej vibrácie sa body, v ktorých je pohyb najväčší, nazývajú kmitny (Anti-node) a oporné body vibrácie, ktoré sa nepohybujú, sa nazývajú uzly (Node). V rámci diagramu je kmitanie v prvom režime, pri ktorom stred vlny výrazne stúpa a klesá, kmitaním základného tónu.



Obrázok 1.2 Módy kameňov marimby, prevzaté z [2]

Ak je základný tón C, potom prvá harmonická je C o dve oktávy vyššie a ďalšia harmonická je o niečo viac ako jednu oktávu vyššie, E.

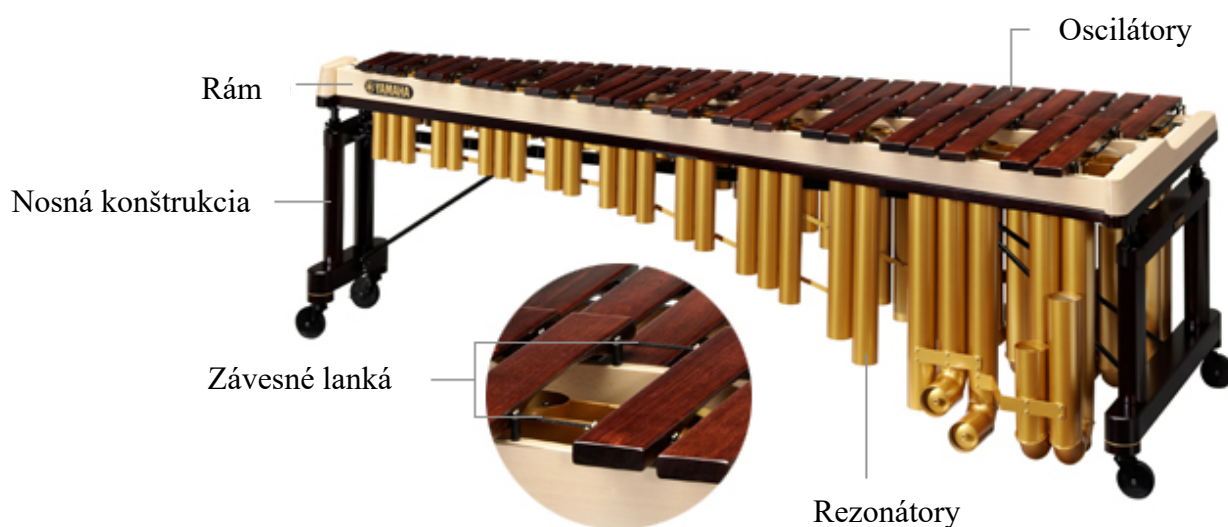
**Rezonátory:** Zosilňujú a udržiavajú zvuk vydávaný kameňmi. Rezonátory sú zvyčajne vyrobené z kovu a sú individuálne naladené tak, aby zodpovedali výške tónu príslušného taktu, čím sa zvyšuje kvalita tónu a projekcia nástroja.

**Rám:** Kamene a rezonátory sú namontované na drevenom ráme, ktorý zabezpečuje stabilitu a oporu nástroja. Rám môže byť navrhnutý v rôznych tvaroch a veľkostiach v závislosti od zamýšľaného použitia marimby, či už na sólové vystúpenia, ansámblovú hru alebo orchestrálne nastavenia.

**Závesné lanká:** Tieto lanká sa dajú nastaviť tak, aby sa mierne zmenila dĺžka alebo poloha rezonátorov, čím sa doladí celkový zvuk nástroja.

**Klaviatúra:** Rozloženie kláves je podobné klaviatúre klavíra, čo umožňuje interpretovi hrať melódie, harmónie a akordy údermi paličiek.

**Nosná konštrukcia:** Niektoré marimby sa dodávajú so stojanmi alebo nohami, ktoré pomáhajú vyzdvihnúť nástroj do pohodlnej výšky pre interpreta.



Obrázok 1.3 Časti marimby, prevzaté z [3]

[4][5][6][7]

## 1.3 Mikrokontroléry a elektronické komponenty

### 1.3.1 Arduino Uno Rev 3

Arduino je obľúbená open-source elektronická platforma založená na ľahko použiteľnom hardvéri a softvéri. Táto platforma je určená pre tvorbu rôznych interaktívnych projektov, od jednoduchých domácich automatizácií až po komplexné robotické výtvary.

**Arduino Uno Rev 3** (často označované jednoducho ako Arduino Uno) je jednou z najpopulárnejších vývojových dosiek v rámci platformy Arduino. Vďaka svojej jednoduchej použiteľnosti, dostupnosti a rozsiahlej podpore komunity je ideálnym nástrojom pre začiatočníkov aj pokročilých používateľov na vývoj rôznych elektronických projektov.

Je vybavené mikrokontrolérom ATmega328P od spoločnosti Atmel (teraz Microchip Technology). Tento mikrokontrolér má nasledujúce vlastnosti:

- **Architektúra:** 8-bit AVR RISC
- Frekvencia: 16 MHz
- **Pamäť:** 32 KB Flash, 2 KB SRAM, 1 KB EEPROM

Doska Arduino Uno Rev 3 má celkom 14 digitálnych vstupno-výstupných pinov (z toho 6 môže byť použité ako PWM výstupy) a 6 analógových vstupných pinov.

- **Digitálne piny (0-13):** Používajú sa na čítanie alebo zapisovanie digitálnych hodnôt (HIGH alebo LOW).

- **Analógové piny (A0-A5):** Používajú sa na čítanie analógových hodnôt v rozsahu 0-5V (s rozlíšením 10 bitov).

Arduino Uno Rev 3 môže byť napájané viacerými spôsobmi:

- **USB konektor:** Napájanie a komunikácia s počítačom.
- **DC konektor:** Externé napájanie (7-12V je odporúčaný rozsah, maximálne 6-20V).
- **Vin pin:** Alternatívne napájanie cez pin (7-12V).

Arduino Uno podporuje viacero komunikačných rozhraní:

- **USB:** Používa sa na nahrávanie kódu a sériovú komunikáciu s počítačom pomocou USB-UART prevodníka ATmega16U2.

- **UART:** Hardvérová sériová komunikácia (TX/RX).
- **I2C:** Komunikácia cez piny A4 (SDA) a A5 (SCL).
- **SPI:** Komunikácia cez piny 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).

Doska obsahuje aj iné komponenty:

- **Resetovacie tlačidlo:** Slúži na reštartovanie mikrokontroléra.
- **LED indikátory:** Na diagnostiku a indikáciu (LED pripojená na pin 13, LED indikujúca napájanie, RX a TX LED pre sériovú komunikáciu).

Arduino Uno Rev 3 používa programovací jazyk založený na Wiringu, ktorý je veľmi podobný jazyku C/C++. Tento jazyk je optimalizovaný pre jednoduché použitie s mikrokontrolérmi a podporuje rôzne funkcie na prácu s hardvérom.

Arduino Integrované Vývojové Prostredie (IDE) je softvérová aplikácia, ktorá umožňuje používateľom písať, kompilovať a nahrávať kód na Arduino dosky. IDE tiež poskytuje sériový monitor, ktorý umožňuje používateľom komunikovať s Arduino doskou cez USB.

Arduino Uno Rev 3 je veľmi všestranné a môže byť použité v rôznych aplikáciách vrátane:

- **Automatizácia domácnosti:** Ovládanie svetiel, termostátov, bezpečnostných systémov.

- **Nositeľné technológie:** Vytváranie nositeľných zariadení, ako sú fitness trackery.

- **Vzdelávanie:** Vyučovanie základov elektroniky a programovania.

- **Robotika:** Riadenie robotov a automatizovaných systémov.

- **Internet vecí (IoT):** Pripojenie zariadení na internet a ich vzdialené ovládanie.

Výhody:

- **Jednoduché použitie:** Uživateľsky prívetivé vývojové prostredie a programovací jazyk.

- **Otvorený hardvér a softvér:** Komunita môže vytvárať a zdieľať vlastné návrhy a vylepšenia.

- **Veľká komunita:** Bohaté zdroje, návody, a podpora od širokej komunity používateľov.

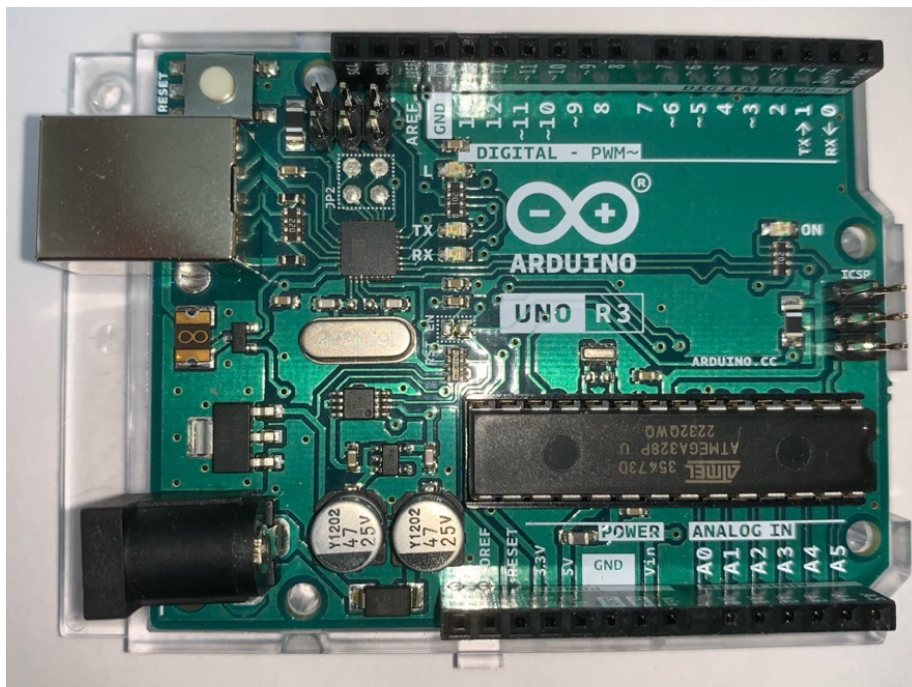
- **Široká kompatibilita:** Podpora množstva senzorov, aktorov a modulov.

Nevýhody:

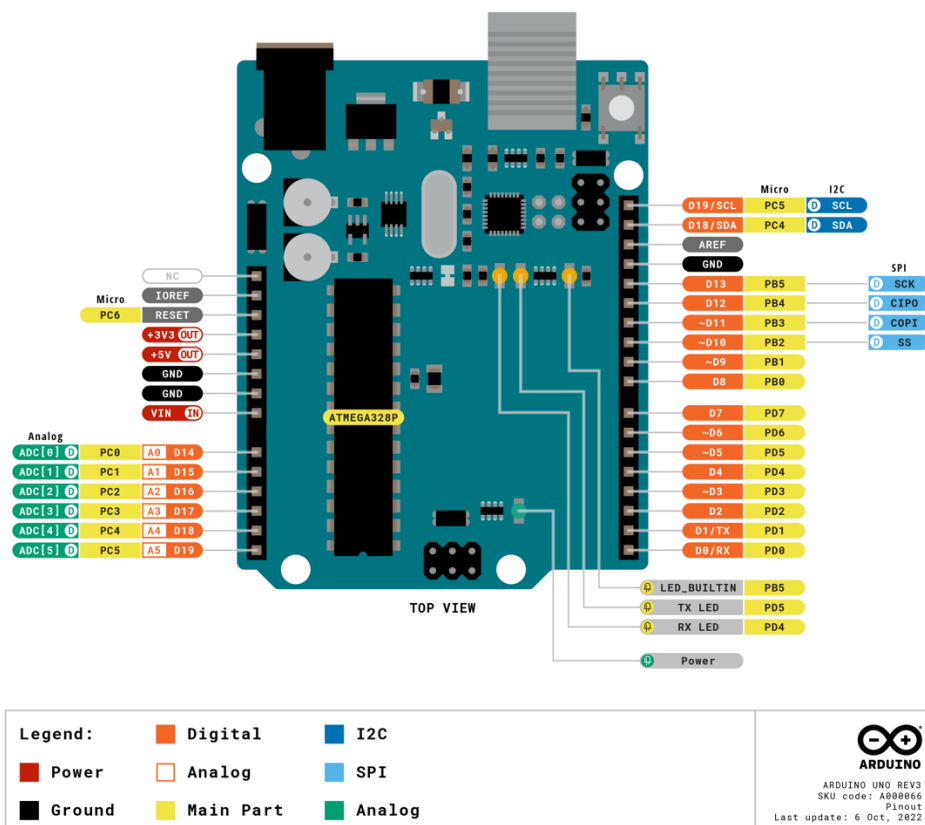
- **Obmedzený výkon:** V porovnaní s inými mikrokontrolérmi alebo vývojovými doskami môže mať nižší výkon.

- **Jednoduchosť môže byť obmedzujúca:** Pre pokročilejšie projekty môže byť potrebné použitie výkonnejších mikrokontrolérov alebo platforiem. [8][9]





Obrázok 1.4 Fotografia Arduino Uno Rev 3



Obrázok 1.5 Arduino Uno Rev 3 – Pinout, prevzaté z [9]

### 1.3.2 ESP32-S3 Dev Kit N8R8

ESP32-S3 Dev Kit N8R8 je vývojová doska, ktorá využíva mikrokontrolér ESP32-S3 od spoločnosti Espressif Systems. Táto doska je určená pre vývoj aplikácií v oblasti Internetu vecí (IoT), bezdrôtových komunikácií a spracovania AI, ponúka vysoký výkon, bohaté možnosti pripojenia a podporu pre širokú škálu periférií a protokolov.

Základné komponenty a architektúra:

**Jadro:** 32-bit Xtensa LX7 dual-core CPU

**Frekvencia:** až 240 MHz

**Pamäť:** 512 KB SRAM (plus 16 KB SRAM pre RTC), 384 KB ROM

**Flash pamäť:** 8 MB (pre N8R8 variantu)

**Bezdrôtová konektivita:** Wi-Fi 802.11 b/g/n (2.4 GHz), Bluetooth 5.0 LE a BLE Mesh

Má celkovo 45 GPIO pinov s rôznymi funkciami:

**Digitálne piny (GPIOx):** Vstupné a výstupné piny.

**Analogové vstupy (ADC1\_x, ADC2\_x):** 12-bitové analógovo-digitálne prevodníky.

**Kapacitné dotykové snímače (TOUCHx):** Podpora až pre 14 dotykových vstupov.

**JTAG/USB (MTMS, MTDI, MTCK, MTDO):** Piny pre debugging a USB komunikáciu.

**UART (U0TXD, U0RXD, U1TXD, U1RXD, U2TXD, U2RXD):** Sériová komunikácia.

**SPI (FSPIx, HSPIx):** Vysokorýchlostná sériová periféria.

**I2C (SDA, SCL):** Komunikácia s perifériami.

**PWM:** Piny schopné generovať PWM signály.

**RTC (RTC):** Piny napojené na doménu reálneho času.

**PWR:** 3.3V a 5V napájacie piny.

**GND:** Zemniace piny.

Môže byť napájaný viacerými spôsobmi:

**USB-C konektor:** Slúži na napájanie a komunikáciu s počítačom.

**Externé napájanie:** Možnosť pripojenia napájania cez 5V alebo 3.3V piny.

ESP32-S3 Dev Kit N8R8 podporuje rôzne komunikačné protokoly:

**Wi-Fi:** IEEE 802.11 b/g/n (2.4 GHz).

**Bluetooth:** Bluetooth 5.0 Low Energy (LE) a BLE Mesh.

**UART:** Trojica sériových komunikačných rozhraní.

**SPI:** Viacero vysokorýchlostných SPI zberníc.

**I2C:** Dve rozhrania pre komunikáciu s perifériami.

**USB-OTG:** Podpora USB host a device režimov.

**CAN (TWAI®):** Podpora CAN bus pre automobilové a priemyselné aplikácie.

Môže byť programovaný pomocou rôznych jazykov a prostredí:

**Arduino:** Arduino IDE poskytuje jednoduché prostredie pre začiatočníkov.

**ESP-IDF:** Oficiálny vývojový framework od Espressif pre pokročilých používateľov.

**MicroPython:** Interpret jazyka Python pre mikrokontroléry.

**PlatformIO:** Výkonný vývojový nástroj podporujúci viacero platforiem a jazykov. Môže byť programovaný v rôznych IDE, vrátane:

**Arduino IDE:** Užívateľsky prívetivé prostredie s rozsiahlymi knižnicami.

**Visual Studio Code:** S použitím rozšírení ako PlatformIO alebo ESP-IDF plugin.

**Eclipse:** S integráciou ESP-IDF.

Je vhodný pre širokú škálu aplikácií:

**Internet vecí (IoT):** Inteligentné zariadenia a senzory, automatizácia domácnosti.

**Priemyselná automatizácia:** Riadiace systémy, monitorovanie a zber dát.

**Zdravotníctvo:** Nositeľné zdravotné zariadenia, monitorovacie systémy.

**AI a strojové učenie:** Lokálne spracovanie dát a inferencie AI modelov.

**Multimédiá:** Audio a video spracovanie, streaming.

Výhody:

**Vysoký výkon:** Dvojjadrový procesor s vysokou frekvenciou.

**Bohaté možnosti pripojenia:** Wi-Fi, Bluetooth, USB, a mnoho ďalších.

**Flexibilita:** Podpora mnohých periférií a komunikačných protokolov.

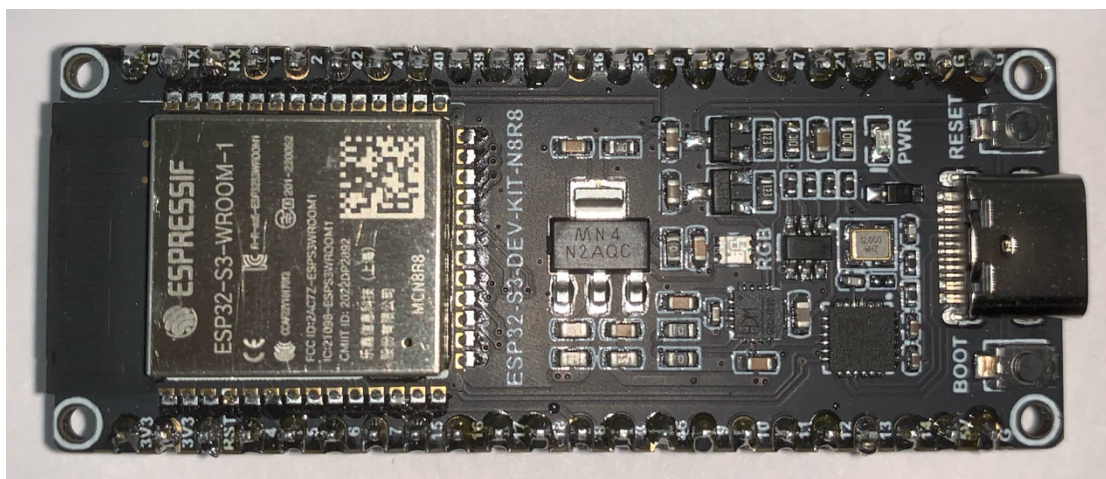
**Rozšírené možnosti AI:** Podpora pre AI a multimediálne aplikácie.

Nevýhody:

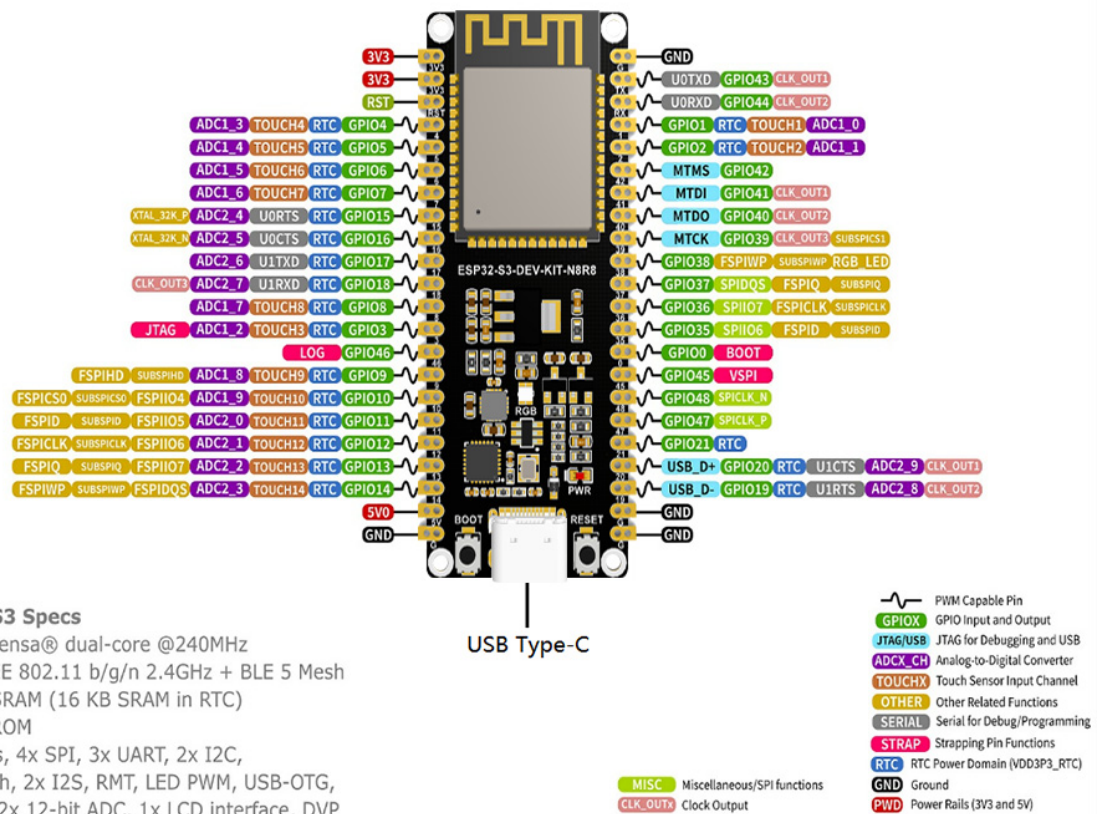
**Komplexnosť:** Vyššia komplexnosť oproti základným mikrokontrolérom ako Arduino.

**Spotreba energie:** Vyššia spotreba energie v porovnaní s jednoduchšími zariadeniami.

**Vývojové prostredie:** Pokročilejšie vývojové prostredia môžu byť pre začiatočníkov zložitejšie. [10]



Obrázok 1.6 Fotografia ESP32-S3 Dev Kit N8R8



Obrázok 1.7 ESP32-S3 Dev Kit N8R8 – Pinout, prevzaté z [10]

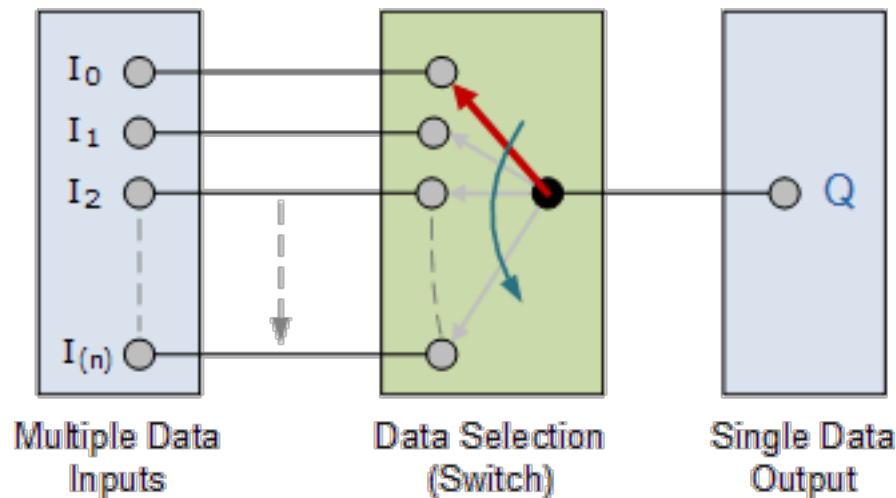
### 1.3.3 Multiplexor

Multiplexor, skrátene „MUX“ alebo „MPX“, je kombinačný logický obvod určený na prepínanie jedného z niekoľkých vstupných vedení na jedno spoločné výstupné vedenie pomocou riadiaceho signálu. Multiplexory pracujú ako veľmi rýchlo pôsobiace viacpolohové otočné prepínače, ktoré spájajú alebo ovládajú viacero vstupných vedení nazývaných „kanály“ po jednom na výstup.

Multiplexovanie je všeobecný termín používaný na opis operácie posielania jedného alebo viacerých analógových alebo digitálnych signálov cez spoločné prenosové vedenie v rôznych časoch alebo rýchlostiach a zariadenie, ktoré používame práve na tento účel, sa nazýva multiplexor.

Multiplexory alebo MUX môžu byť buď digitálne obvody vyrobené z vysokorýchlostných logických hradieľ používaných na prepínanie digitálnych alebo binárnych údajov, alebo môžu byť analógové typy, ktoré používajú tranzistory, MOSFETy alebo relé na prepínanie jedného z napäťových alebo prúdových vstupov na jeden výstup.

Najzákladnejším typom zariadenia multiplexora je jednosmerný otočný prepínač, ako je znázornené na obrázku.



Obrázok 1.8 Princíp multiplexora, prevzaté z [11]

Používajú sa ako jeden zo spôsobov zníženia počtu logických hradiel potrebných pri návrhu obvodu alebo keď sa vyžaduje, aby jedna dátová linka alebo dátová zbernica prenášala dva alebo viac rôznych digitálnych signálov.

Vo všeobecnosti je výber každej vstupnej linky v multiplexore riadený ďalšou sadou vstupov nazývaných riadiace linky a podľa binárneho stavu týchto riadiacich vstupov, buď „HIGH“ alebo „LOW“, je príslušný dátový vstup pripojený priamo na výstup. Zvyčajne má multiplexor páry počet  $2n$  dátových vstupných liniek a počet „riadiacich“ vstupov, ktorý zodpovedá počtu dátových vstupov. [11]

#### 1.3.4 CD74HC4067

je 16-kanálový analógový multiplexor/demultiplexor. Tento obvod umožňuje pripojiť jeden analógový signál k jednému z 16 možných výstupných/vstupných kanálov. V podstate slúži ako prepínač, ktorý môže prepínať medzi 16 rôznymi signálmi pomocou digitálneho ovládania. CD74HC4067 je často používaný v aplikáciách, kde je potrebné viacero analógových signálov pripojiť k obmedzenému počtu vstupov na mikrokontroléri, ako napríklad pri snímaní z viacerých senzorov.

Vlastnosti a špecifikácie:

**Ovládacie piny:** 4-bitový binárny vstup (S0, S1, S2, S3) na výber kanálu

**SIG:** Spoločný analógový pin (buď vstupný alebo výstupný, v závislosti od konfigurácie)

Napájacie napätie: 2V až 6V (Vcc)

Uzemnenie: GND

**C0 až C15:** Individuálne analógové kanály

**EN:** - HIGH, komunikácia medzi zvoleným pinom Cx a SIG je povolená (funguje obojsmerne, ako kábel).

- LOW komunikácia medzi zvoleným pinom Cx smerom k SIG je prerušená

Analogové vstupné/výstupné napätie: 0V až Vcc

Maximálny prúd: 25 mA

**Nízka spotreba energie:** Typicky iba niekoľko mikroampérov v kludovom stave

**Rýchla prepínacia rýchlosť:** Typicky menej ako 6 ns pri Vcc = 5V

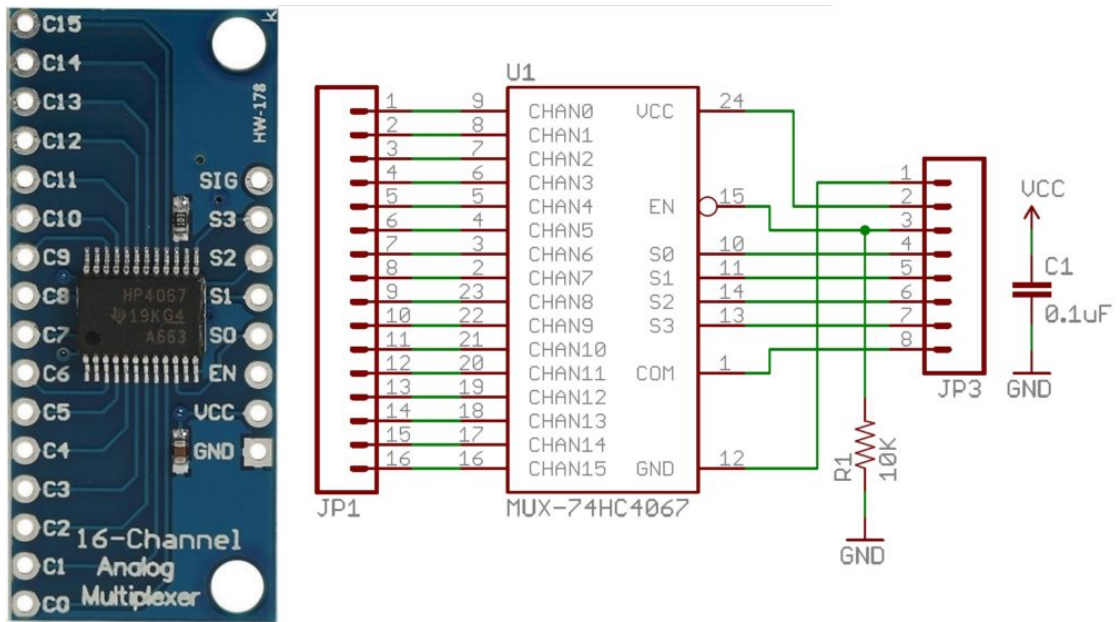
Pracovná teplota: -55°C až +125°C

Pracuje s digitálnymi aj analogovými signálmi a pripojenia fungujú v oboch smeroch. Na výber jedného zo 16 výstupov Cx sa používajú 4 kolíky S0-S3, pričom sa nastaví správna hodnota HIGH a LOW, ako je uvedené na obrázku 1.9. [12]

TRUTH TABLE

S0	S1	S2	S3	$\bar{E}$	SELECTED CHANNEL
X	X	X	X	1	None
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	2
1	1	0	0	0	3
0	0	1	0	0	4
1	0	1	0	0	5
0	1	1	0	0	6
1	1	1	0	0	7
0	0	0	1	0	8
1	0	0	1	0	9
0	1	0	1	0	10
1	1	0	1	0	11
0	0	1	1	0	12
1	0	1	1	0	13
0	1	1	1	0	14
1	1	1	1	0	15

Obrázok 1.9 Pravdivostná tabuľka, prevzaté z [12]



Obrázok 1.10 CD74HC4067, prevzaté z [12]

## 1.4 Logic Pro

Logic Pro je Digital Audio Workstation (DAW) a softvérová aplikácia MIDI sekvencer pre platformu macOS, ktorú vyvinula spoločnosť Apple Inc. Pôvodne bol vytvorený začiatkom 90. rokov 20. storočia ako Notator Logic, alebo Logic, nemeckým softvérovým vývojárom C-Lab, ktorý neskôr prešiel pod spoločnosť Emagic. Spoločnosť Apple získala spoločnosť Emagic v roku 2002 a premenovala ju na Logic Pro. Podľa prieskumu uskutočneného v roku 2015 bol druhým najobľúbenejším DAW - po Ableton Live.

Logic Pro poskytuje softvérové nástroje, zvukové efekty a nahrávacie zariadenia na syntézu hudby. Podporuje aj Apple Loops - profesionálne nahrané slučky nástrojov bez licenčných poplatkov. Programy Logic Pro a Express mali kedysi spoločné mnohé funkcie a rovnaké rozhranie. Logic Express bol obmedzený na dvojkanálové stereo mixovanie, zatiaľ čo Logic Pro zvládne viackanálový priestorový zvuk. Logic Express zvládol len 255 zvukových stôp v závislosti od výkonu systému (priepustnosť procesora a pevného disku a čas vyhľadávania), zatiaľ čo od verzie 10.4.5 Logic Pro zvládne až 1 000 stôp.

Logic Pro dokáže pracovať s MIDI klávesnicami a ovládacími plochami na vstup a spracovanie a na výstup MIDI. Je vybavený funkciou bodovania v reálnom čase v notovom zápise, podporuje gitarové tabulatúry, akordové skratky a notáciu bicích nástrojov. Pokročilé úpravy MIDI sú možné prostredníctvom okna MIDI Transform Window programu Logic Pro, v ktorom možno upravovať rýchlosť, výšku tónu, pitch-bendy, dĺžku nôt, humánnosť a presné umiestnenie nôt.

Softvérové nástroje zahrnuté v aplikácii Logic Pro zahŕňajú: Drum Kit Designer, Drum Machine Designer, ES, ES2, EFM1, ES E, ES M, ES P, EVOC 20 PolySynth, Sampler, Quick Sampler, Step Sequencer, Klopfggeist, Retro Synth, Sculpture, Ultrabeat, Vintage B3, Vintage Clav, Vintage Electric Piano. Tieto nástroje vytvárajú zvuk rôznymi spôsobmi, prostredníctvom subtraktívnej syntézy (ES, ES2, ES E, ES M, ES P, Retro Synth), syntézy frekvenčnou moduláciou (EFM1), vlnkovej syntézy (ES2, Retro Synth), vokodovania (EVOC 20 PolySynth), vzorkovania (Sampler, Quick Sampler, Drum Kit Designer) a techník modelovania komponentov (Ultrabeat, Vintage B3, Vintage Clav a Vintage Electric Piano, Sculpture). Od verzie 10.2 obsahuje Logic Pro aj Alchemy, syntetizátor na manipuláciu so vzorkami, ktorý predtým vyvinula spoločnosť Camel Audio. Softvérové nástroje sa aktivujú pomocou informácií MIDI, ktoré možno vložiť prostredníctvom nástroja MIDI alebo nakresliť do editora MIDI. [13]



## 1.5 MIDI (Musical Instrument Digital Interface)

Je to technický štandard, ktorý opisuje komunikačný protokol, digitálne rozhranie a elektrické konektory, ktoré spájajú širokú škálu elektronických hudobných nástrojov, počítačov a súvisiacich zvukových zariadení na prehrávanie, úpravu a nahrávanie hudby.

Jediný MIDI kábel môže prenášať až šesťnásť kanálov dát MIDI, z ktorých každý môže byť smerovaný do samostatného zariadenia. Každá interakcia s klávesom, tlačidlom, gombíkom alebo posuvným potenciometrom sa prevedie na udalosť MIDI, ktorá špecifikuje hudobné inštrukcie, napríklad výšku tónu, časovanie a hlasitosť.

Jednou z bežných aplikácií MIDI je hranie na MIDI klávesoch alebo inom kontroléri a jeho použitie na spustenie digitálneho zvukového modulu (ktorý obsahuje syntetizované hudobné zvuky) na generovanie zvukov, ktoré publikum počuje produkované klávesovým zosilňovačom. Údaje MIDI sa môžu prenášať prostredníctvom kábla MIDI alebo USB alebo sa môžu nahrávať do sequencera alebo digitálnej zvukovej pracovnej stanice, aby sa mohli upravovať alebo prehrávať.

Záznam MIDI predstavenia na klaviatúre by mohol znieť ako klavír alebo iný klávesový nástroj, keďže však MIDI zaznamenáva správy a informácie o ich notách, a nie konkrétne zvuky, tento záznam by sa mohol zmeniť na mnoho iných zvukov, od syntetizovanej alebo vzorkovanej gitary alebo flauty až po celý orchester.

Pred vývojom MIDI elektronické hudobné nástroje od rôznych výrobcov vo všeobecnosti nemohli navzájom komunikovať. To znamenalo, že hudobník nemohol napríklad pripojiť klávesy Roland k modulu syntetizátora Yamaha. Pomocou MIDI je možné pripojiť akúkoľvek MIDI-kompatibilnú klaviatúru (alebo iné riadiace zariadenie) k akémukoľvek inému MIDI-kompatibilnému sequenceru, zvukovému modulu, drum machine, syntetizátoru alebo počítaču, aj keď sú vyrobené rôznymi výrobcami.

Technológia MIDI bola štandardizovaná v roku 1983 skupinou zástupcov hudobného priemyslu a udržiava ju Asociácia výrobcov MIDI (MMA). Všetky oficiálne normy MIDI spoločne vyvíjajú a uverejňujú MMA v Los Angeles a výbor MIDI Asociácie hudobného elektronického priemyslu (AMEI) v Tokiu. V roku 2016 MMA založila Asociáciu MIDI (The MIDI Association - TMA) na podporu globálnej komunity ľudí, ktorí pracujú, hrajú alebo tvoria s MIDI.

### 1.5.1 Ovládanie nástrojov

MIDI bolo vynájdené, aby elektronické alebo digitálne hudobné nástroje mohli navzájom komunikovať a aby jeden nástroj mohol ovládať druhý. Napríklad sequencer kompatibilný s MIDI môže spúšťať údery produkované zvukovým modulom bicích nástrojov.

Analógové syntetizátory, ktoré nemajú digitálnu zložku a boli vyrobené pred vývojom MIDI, možno dodatočne vybaviť súpravami, ktoré konvertujú správy MIDI na analógové riadiace napätia. Keď sa na MIDI nástroji zahrá nota, generuje digitálnu správu, ktorá sa môže použiť na spustenie noty na inom nástroji. Možnosť diaľkového

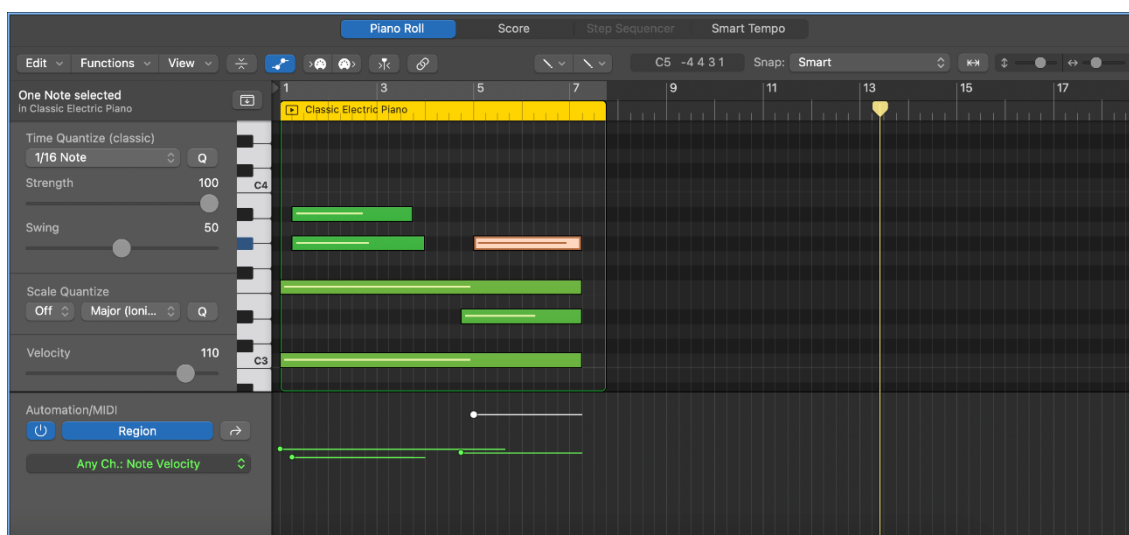
ovládania umožňuje nahradiť nástroje plnej veľkosti menšími zvukovými modulmi a umožňuje hudobníkom kombinovať nástroje na dosiahnutie plnšieho zvuku alebo vytvárať kombinácie zvukov syntetických nástrojov, napríklad akustického klavíra a sláčikových nástrojov. MIDI umožňuje diaľkovo ovládať aj ďalšie parametre nástrojov (hlasitosť, efekty atď.).

Syntetizátory a samplery obsahujú rôzne nástroje na formovanie elektronického alebo digitálneho zvuku. Filtre upravujú farebnosť a obálky automatizujú spôsob, akým sa zvuk vyvíja v čase po spustení noty. Frekvencia filtra a attack obálky (čas, za ktorý zvuk dosiahne svoju maximálnu úroveň) sú príkladmi parametrov syntetizátora a možno ich ovládať na diaľku prostredníctvom MIDI.

Efektové zariadenia majú rôzne parametre, napríklad spätnú väzbu oneskorenia alebo čas dozvuku. Keď je jednému z týchto parametrov priradené číslo kontinuálneho kontroléra MIDI (CCN), zariadenie reaguje na všetky prijaté správy, ktoré sú identifikované týmto číslom. Na odosielanie týchto správ možno použiť ovládacie prvky, ako sú gombíky, prepínače a pedále. Súbor upravených parametrov možno uložiť do vnútornej pamäte zariadenia ako patch a tieto patche možno na diaľku vyberať pomocou zmien programu.

## 1.5.2 Kompozícia

Udalosti MIDI možno sekvencovať pomocou počítačového softvéru alebo v špecializovaných hardvérových hudobných pracovných staniciach. Mnohé digitálne zvukové pracovné stanice (DAW) sú špeciálne navrhnuté na prácu s MIDI ako neoddeliteľnou súčasťou. V mnohých DAW boli vyvinuté MIDI Piano rolls, takže zaznamenané MIDI správy možno ľahko upravovať.



Obrázok 1.11 Screenshot Piano roll s Note Velocity v DAW (Logic Pro)

Keďže MIDI je sekvencia príkazov, ktoré vytvárajú zvuk, s MIDI nahrávkami sa dá manipulovať tak, ako s audio nahrávkami nie. Je možné meniť tóninu, inštrumentáciu

alebo tempo a meniť poradie jeho jednotlivých častí. Možnosť komponovať nápady a rýchlo ich počuť prehrávať umožňuje skladateľom experimentovať.

Niektorí skladatelia môžu využívať štandardný, prenosný súbor príkazov a parametrov v MIDI 1.0 a General MIDI (GM) na zdieľanie hudobných dátových súborov medzi rôznymi elektronickými nástrojmi. Údaje skomponované prostredníctvom sekvenčných záznamov MIDI možno uložiť ako štandardný súbor MIDI (SMF), digitálne distribuovať a reprodukovat' akýmkoľvek počítačom alebo elektronickým nástrojom, ktorý tiež dodržiava rovnaké štandardy MIDI, GM a SMF. Dátové súbory MIDI sú oveľa menšie ako zodpovedajúce nahrané zvukové súbory.

### 1.5.3 Počítačové súbory

Súbor MIDI nie je zvukový záznam. Je to skôr súbor inštrukcií - napríklad pre výšku tónu alebo tempo - a môže zaberat' tisíckrát menej miesta na disku ako ekvivalentný nahraný zvuk.

Hlavnou nevýhodou je veľká variabilita v kvalite zvukových kariet používateľov a v skutočnom zvuku obsiahnutom ako vzorky alebo syntetizovaný zvuk na karte, na ktorý údaje MIDI odkazujú len symbolicky. Dokonca aj zvuková karta, ktorá obsahuje vysokokvalitné samplované zvuky, môže mať nekonzistentnú kvalitu od jedného samplovaného nástroja k druhému.

### 1.5.4 Prevod audio signálu do MIDI v DAW

Prevod zvuku na MIDI je v DAW výkonná funkcia, ktorá umožňuje konvertovať zvukové nahrávky alebo vzorky na noty MIDI, čo umožňuje ďalšiu manipuláciu, úpravy alebo použitie s virtuálnymi nástrojmi. Údaje MIDI predstavujú informácie, ako je výška tónu, trvanie a rýchlosť. Tento proces je v tejto semestrálnej práci použitý v DAW softvéri Logic Pro, prebieha v týchto krokoch:

**Detekcia výšky tónu:** Algoritmy analyzujú priebeh zvukového signálu s cieľom identifikovať informácie o výške tónu. To zahŕňa identifikáciu základných frekvencií prítomných v signáli.

**Detekcia prechodových javov:** Rozpoznávanie nástupu a trvania jednotlivých tónov alebo zvukových udalostí v rámci zvukového signálu. V tomto kroku sa rozlišujú rôzne noty alebo zvuky.

**Amplitúda a trvanie:** Určenie amplitúdy (hlasitosti) a trvania každej noty alebo zvukovej udalosti v zvuku. Tieto informácie prispievajú k rýchlosti a dĺžke nôt MIDI.

**Spektrálna analýza:** Analýza frekvenčného spektra a amplitúdovej obálky na získanie charakteristík, ktoré definujú každú notu, ako sú attack, sustain, decay a release.

**Mapovanie nôt:** Prevod zistených informácií o výške tónu na notové údaje MIDI. Každá zistená výška tónu sa mapuje na najbližšiu hodnotu noty MIDI spolu s ďalšími parametrami, ako je trvanie noty a Velocity.

**Mapovanie Velocity:** Mapovanie amplitúdy alebo intenzity zvukového signálu na MIDI Velocity.

[14][15][16]

### 1.5.5 Buffer Size

Buffer size (veľkosť medzipamäte) je parameter, ktorý určuje, koľko dát môže byť uložených v medzipamäti predtým, než sú spracované alebo odoslané na ďalšie spracovanie.

V kontexte MIDI a zvukovej produkcie sa buffer size používa na určenie, koľko dát sa zhromaždí v medzipamäti predtým, než sú odoslané do procesora zvukovej karty alebo softvéru na spracovanie zvuku.

Po naplnení medzipamäte sa tieto dáta odosielajú do procesora (CPU) alebo zvukovej karty na ďalšie spracovanie. Väčší buffer size umožňuje zhromaždiť viac dát pred ich spracovaním, čo môže znížiť záťaž na procesor, ale zvyšuje latenciu (oneskorenie). Menší buffer size znamená nižšiu latenciu, čo je dôležité pre živé nahrávanie alebo výkon, kde je dôležitá okamžitá odozva. Väčší buffer size znamená vyššiu latenciu, ale znižuje záťaž na procesor, čo môže byť užitočné pri mixovaní alebo prehrávaní, kde okamžitá odozva nie je tak kritická. [17]

## 2. SPÔSOBY SNÍMANIA

V tejto kapitole je vypísaných niekoľko spôsobov, ktoré boli zvažované pri tvorbe tejto semestrálnej práci. V práci je využívaný snímač pomocou piezoelektrického efektu, ktorý je spomenutý v tejto kapitole.

### 2.1 Optické snímače

Optické snímače, napríklad infračervené snímače, sa používajú v niektorých hudobných rozhraniach alebo MIDI kontroléroch. Zisťujú zmeny intenzity svetla alebo prerušenie svetelných lúčov spôsobené pohybmi rúk alebo gestami.

Môžu zabezpečiť bezdotykovú a tichú interakciu na ovládanie udalostí MIDI.

#### 2.1.1 Silent Piano System

Inovatívna technológia integrovaná do tradičných akustických klavírov, ktorá umožňuje klaviristom hrať potichu cez slúchadlá, pričom si zachováva dotyk a pocit akustického nástroja.

Kombinuje akustický zvuk tradičného klavíra s digitálnou technológiou, pričom ponúka možnosť prepínania medzi akustickým a digitálnym režimom.

Po zapnutí systém stlmí akustický zvuk vydávaný údermi kladiviek na struny. To umožňuje klaviristovi hrať potichu pomocou slúchadiel bez toho, aby bol zvuk klavíra počuteľný.

Využíva vysokokvalitné digitálne vzorky na reprodukciu akustického zvuku klavíra. Klavirista počuje digitálne generovaný zvuk prostredníctvom slúchadiel alebo zvukového výstupu.

Optické snímače sú nainštalované pod klávesmi na detekciu pohybu a sily klávesov. Tieto údaje sa prevádzajú na digitálne signály na reprodukciu zvuku.

### 2.2 Akcelerometre a gyroskopy

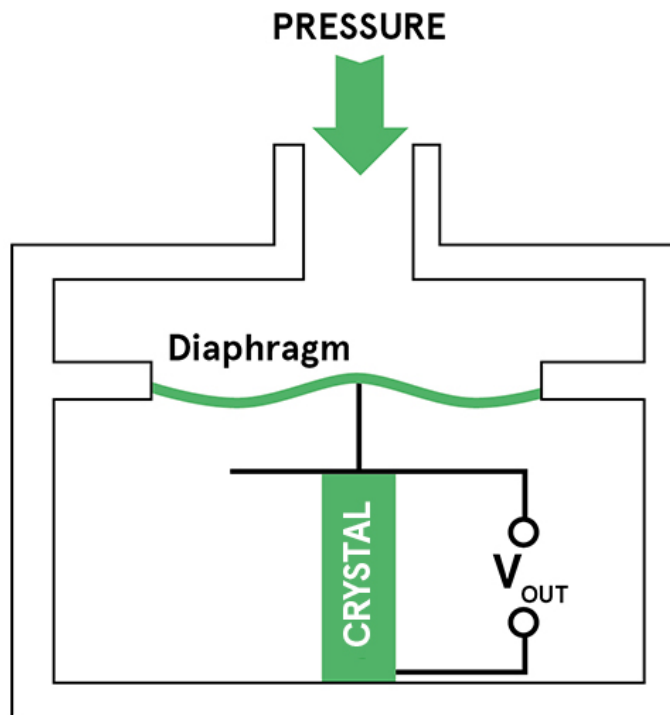
Tieto snímače zisťujú zmeny pohybu a orientácie. Používajú sa v MIDI kontroléroch založených na pohybe, ktoré umožňujú hudobníkovi ovládať parametre MIDI pohybom nástroja alebo gestikuláciou.

Ponúkajú hands-free spôsob interakcie s udalosťami MIDI a môžu sa používať potichu.

## 2.3 Piezoelektrické snímače

Tieto snímače generujú elektrické náboje, keď sú vystavené mechanickému namáhaniu, napríklad pri údere alebo poklepaní. Bežne sa používajú v spúšťačoch bicích nástrojov, elektronických bicích súpravách a konverziách akustických nástrojov na elektrické pre rôzne nástroje.

Piezoelektrický snímač vysielá signál, keď naň pôsobí fyzikálna sila, ktorou môže byť stláčanie, tlačenie alebo zmena teploty. Piezoelektrické snímače generujú výstupný signál priamo z pôsobiaceho napätia a nevyžadujú žiadne externé napätie.



Obrázok 2.1 Piezoelektrický efekt, prevzaté z [18]

Piezoelektrický efekt je proces, ktorý umožňuje výstupný signál. Tento efekt je spôsob, akým materiály, ako napríklad niektoré umelé keramiky, syntetické materiály a vybrané prírodné sa tvoriace kryštály, generujú elektrický náboj, keď sú vystavené mechanickému namáhaniu, ako je stláčanie alebo tlačenie.

Vzniknuté elektrické náboje možno merať ako napätie a odborníci ich spracúvajú pomocou spracovania signálu. Odborníci ich potom môžu interpretovať a zhromažďovať užitočné údaje.

Napätie môže tiež spôsobiť, že piezoelektrický materiál zmení tvar alebo že sa kryštál zmenší alebo rozšíri. Táto zmena tvaru alebo veľkosti je známa ako inverzný piezoelektrický efekt. Inverzný piezoelektrický efekt sa môže vyskytovať v mnohých každodenných aplikáciách, pri vytváraní a detekcii vysokofrekvenčných zvukov

a vibrácií. Je užitočný v aplikáciách sirén, ako sú detektory dymu, a v aplikáciách s nižšou frekvenciou, ako sú sonary alebo podvodné zobrazovanie. [19]

### 2.3.1 Piezoelektrický snímač Harley Benton HB-T

Snímač je vyvinutý Dieterom Kaudelom bývalým gitaristom Würzburkej kapely "Munju!", vyrobený firmou Shadow. Je univerzálny a výhradne vhodný pre akustické hudobné nástroje. Obsahuje jeden snímač s priemerom 20 mm, výstupný konektor 6,3 mm jack s držiakom na suchý zips. Je ho možné pomocou hmoty nalepiť na hudobný nástroj.



Obrázok 2.2 Harley Benton HB-T, prevzaté z [20]

## 2.4 Snímanie mikrofónom

Pre melodické bicie nástroje sú najvhodnejšie kondenzátorové mikrofóny, pretože sú schopné zachytiť široký frekvenčný rozsah, nuansy a harmonické tóny nástrojov.

V tejto práci je použitý kondenzátorový mikrofón, opísaný v nasledujúcej podkapitole. Tento mikrofón je použitý len pre analýzu tlmenia kameňov piezoelektrickým snímačom, pretože by bolo neefektívne snímať každý tón jedným mikrofónom. Nehovoriac o tom, že by vznikali veľmi veľké presluchy iných tónov.

### 2.4.1 Mikrofón sE Electronics SE7

SE7 je vysokokvalitný kondenzátorový mikrofón s malou membránou určený na širokú škálu štúdiových a živých zvukových aplikácií, od akustických gitár cez klavír až po perkusie a ďalšie.

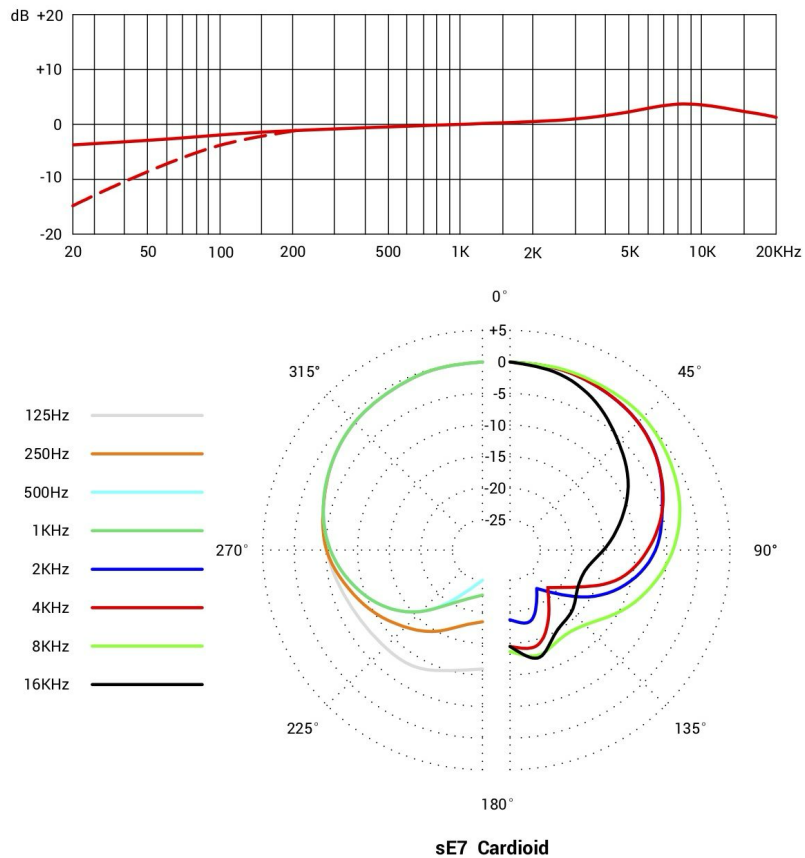
Má optimalizovaný akustický dizajn, diskkrétne obvody triedy A a výstup bez transformátora. Má prepínateľný útlmový pad -20 dB a prepínateľný filter horná priepusť

80 Hz. Obsahuje komponenty s extrémne nízkou hladinou šumu a schopnosťou zvládnuť vysokú hladinu akustického tlaku (SPL). [21]

Špecifikácie:

- 1 / 2" back-elektretová kondenzátorová kapsuľa
- Elektrická impedancia <200 Ohm
- Odporúčaná impedancia záťaže <1k Ohm
- Konektivita – 3-pinový konektor XLR
- Napájanie – 48 V Phantom Power
- Smerová charakteristika – Kardioid
- Frekvenčný rozsah – 20 Hz až 20 kHz
- Citlivosť – 19 mV / Pa (-35 dBV)
- Max SPL – 136 / 156 dB (0 / 20 dB útlmový pad)
- Ekvivalentná hladina šumu – 16 dB
- Dynamický rozsah – 120 / 140 dB (0 / 20 dB útlmový pad)
- Odstup signálu od šumu – 78 dB
- Filter horná priepusť – 80 Hz, 6 dB / Okt, prepínateľný
- Útlmový pad – 20 dB, prepínateľný
- Spotreba prúdu – 3.0 mA
- Priemer membrány – 23 mm
- Dĺžka kapsule – 120 mm
- Hmotnosť mikrofónu – 128 g





Obrázok 2.4 Frekvenčná s smerová charakteristika mikrofónu SE7, prevzaté z [22]



Obrázok 2.3 Mikrofón SE7, prevzaté z [22]

### 3. NAHRÁVANIE A ANALÝZA

Táto kapitola obsahuje môj prvotný prínos do tejto problematiky. Monofónne nahrávané a analyzované sú kamene marimby, a to tón  $a\#^1$  a  $c^1$  udierané paličkou na perkusie Rohema Mallet PM449, nahrávané pomocou piezoelektrického snímača Harley Benton HB-T, kondenzátorového mikrofónu sE Electronics SE7 a externou zvukovou kartou M-Audio Air 192/4.



Obrázok 3.1 Fotografia paličky, tónu  $a\#^1$  (menší) a tónu  $c^1$  (väčší)

#### 3.1 Meranie dynamického rozsahu

Dynamický rozsah označuje rozdiel medzi najtichšími a najhlasnejšími časťami zvukového signálu, zvuku alebo nahrávky. Predstavuje rozsah medzi najnižšou a najvyššou úrovňou intenzity zvuku, ktorý sa zvyčajne meria v decibeloch (dB). Zmeraný bol dynamický rozsah RMS Loudness v programe WaveLsab Pro 11 a po prevedení do formy MIDI, je dynamický rozsah zmeraný v Piano roll DAW softvéru Logic Pro.

Pri nasledujúcich analýzach bolo na kamene marimby hrané paličkou niekoľko krát, s cieľom dosiahnutia najprv čo najtichšieho zvuku, postupne až po najhlasnejší tak, aby bola zachovaná prirodzená farba tónu, spektrum nebolo zašumené alebo naopak najhlasnejší signál prebudený.

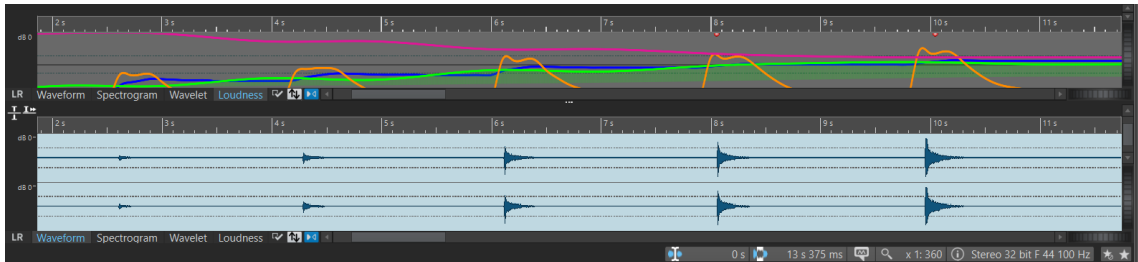
##### 3.1.1 RMS Loudness

RMS (Root Mean Square) Loudness sa vzťahuje na metódu merania priemernej úrovne hlasitosti zvukového signálu v priebehu času. Je to spôsob kvantifikácie priemerného výkonu zvukového signálu.

RMS vypočítava druhú odmocninu zo strednej hodnoty (priemeru) štvorcov radu hodnôt pomocou vzorcu:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (3.1)$$

Kde  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sú stredné hodnoty audio signálu a  $n$  je ich počet. [23]



Obrázok 3.2 Tón  $c^1$ , hlasitosť a zvukové vlny (WaveLab Pro 11)

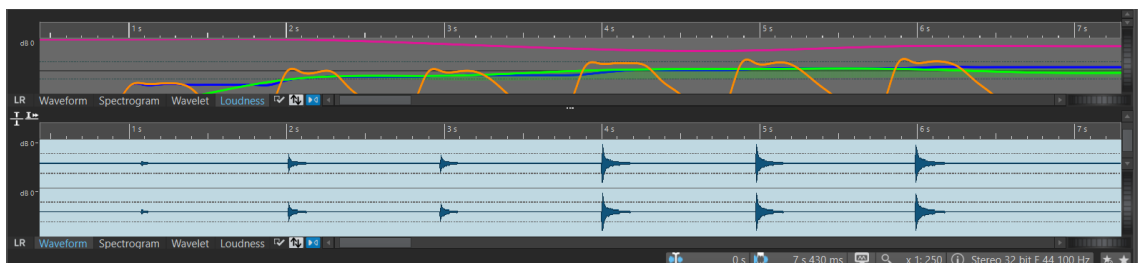
	Average	Maximum	Minimum	Around Cursor
Left	-23.92 dB	<input type="checkbox"/> -8.81 dB	<input type="checkbox"/> -86.43 dB	<input type="checkbox"/> -∞ dB
Right	-23.92 dB	<input type="checkbox"/> -8.81 dB	<input type="checkbox"/> -86.43 dB	<input type="checkbox"/> -∞ dB

Obrázok 3.3 Tón  $c^1$ , analýza hlasitosti (WaveLab Pro 11)

Z obrázku 3.3 je vidieť maximálnu a minimálnu úroveň hlasitosti, ktorá je rovnaká v oboch kanáloch. Dynamický rozsah vypočítame nasledovne:

$$DR = L_{MAX} - L_{MIN} = -8,81 \text{ dB}_{RMS} - (-86,43 \text{ dB}_{RMS}) = 77,62 \text{ dB}_{RMS} \quad (3.2)$$

Kde  $L_{MAX}$  je maximálna úroveň hlasitosti a  $L_{MIN}$  je minimálna úroveň hlasitosti.



Obrázok 3.4 Tón  $a\#^1$ , hlasitosť a zvukové vlny (WaveLab Pro 11)

	Average	Maximum	Minimum	Around Cursor
Left	-19.80 dB	<input type="checkbox"/> -9.97 dB	<input type="checkbox"/> -92.66 dB	-∞ dB
Right	-19.80 dB	<input type="checkbox"/> -9.97 dB	<input type="checkbox"/> -92.66 dB	-∞ dB

Obrázok 3.5 Tón a<sup>#1</sup>, analýza hlasitosti (WaveLab Pro 11)

Podobne ako v predošlej analýze tónu c<sup>1</sup>, vypočítame dynamický rozsah RMS hlasitosti nasledovne:

$$DR = L_{MAX} - L_{MIN} = -9,97 \text{ dB}_{RMS} - (-92,66 \text{ dB}_{RMS}) = 82,69 \text{ dB}_{RMS} \quad (3.3)$$

Ak to chceme zhrnúť, aj napriek malým rozmerom tónu a<sup>#1</sup>, sa podarilo dosiahnuť dokonca širší dynamický rozsah ako pre tón c<sup>1</sup> snímaním pomocou piezoelektrického snímača.

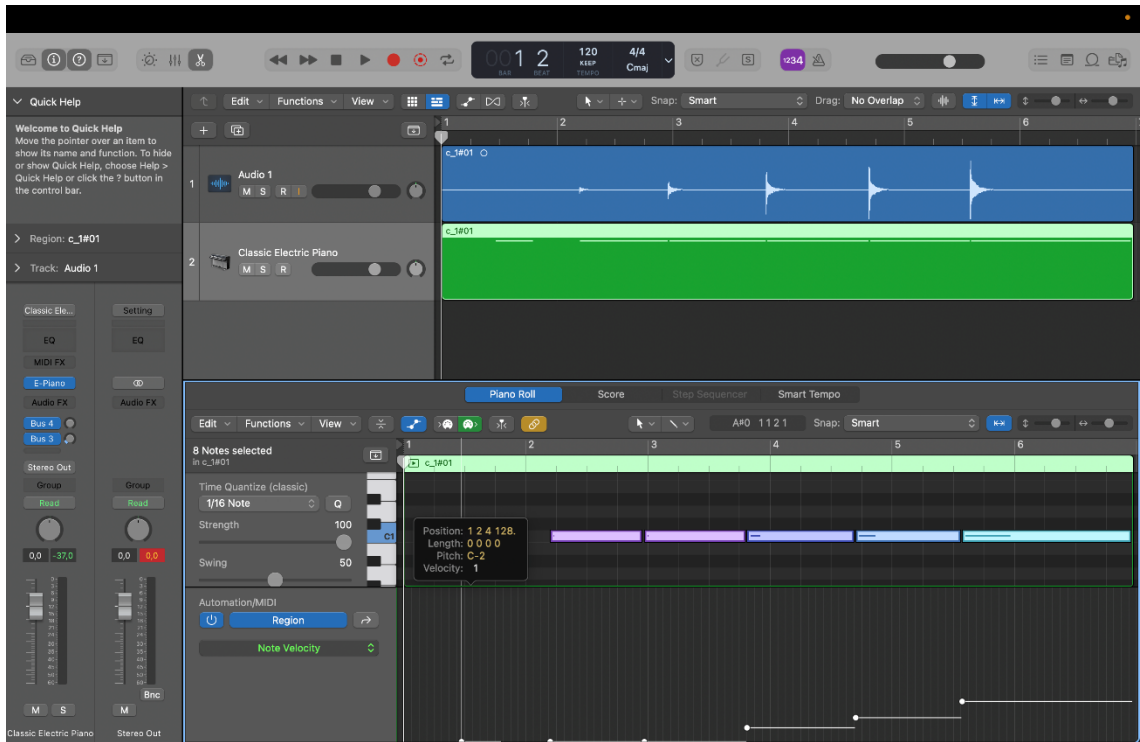
Samozrejme, že intenzita úderov pre obe tóny nie je rovnaká, tým pádom je toto meranie nie úplne presné. Ale aj napriek tomu sa dokázalo, že piezoelektrický snímač dokáže nasnímať široký dynamický rozsah a rozmery kameňov hudobného nástroja naň nemajú vplyv.

### 3.1.2 Note Velocity

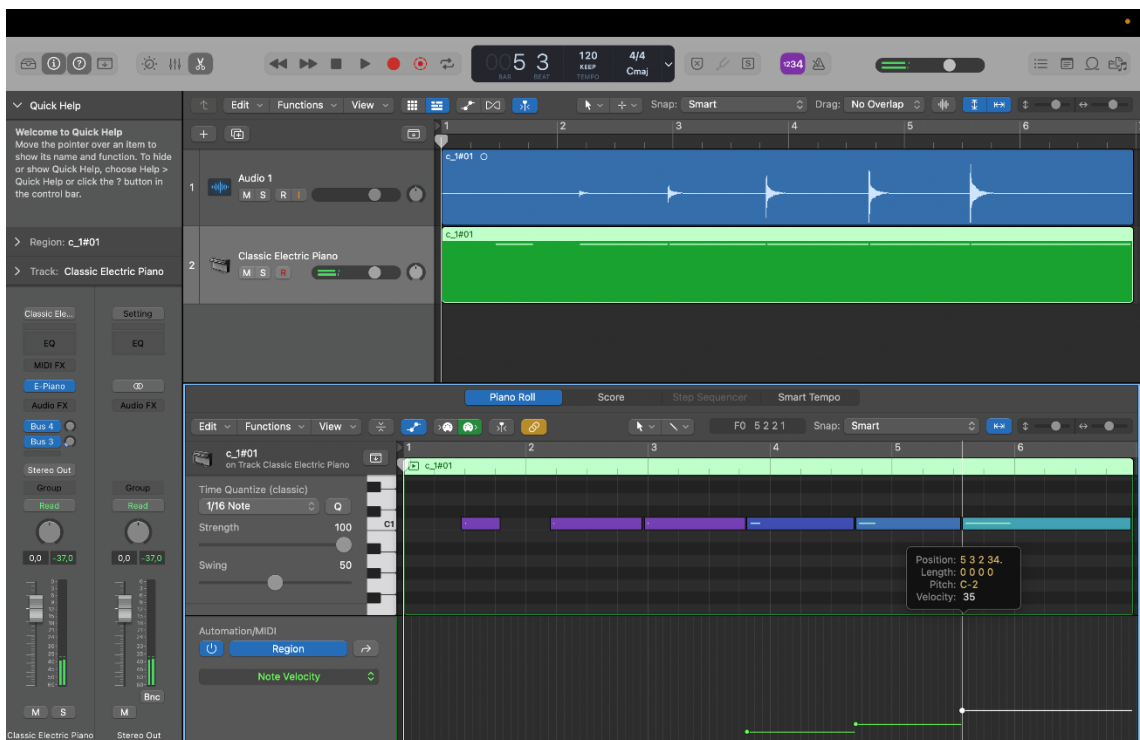
Note Velocity označuje parameter v rozhraní MIDI, ktorý určuje, ako silno sa stlačí kláves na kontroléri MIDI, ako silno sa udrie na pad alebo trigger alebo v tomto prípade, ako silno sa udrie na daný kameň marimby.

Hodnoty Note Velocity sa pohybujú od 0 do 127. Hodnota 0 zvyčajne znamená, že nota nie je spustená, zatiaľ čo 127 predstavuje maximálnu silu alebo intenzitu, s akou sa udiera.

Keď sa na kontroléri MIDI zahrá nota, správa "Note On" obsahuje výšku noty a jej zodpovedajúcu rýchlosť. Keď je nota uvoľnená, odošle sa správa "Note Off", ktorá označuje koniec noty a prípadne jej rýchlosť uvoľnenia.



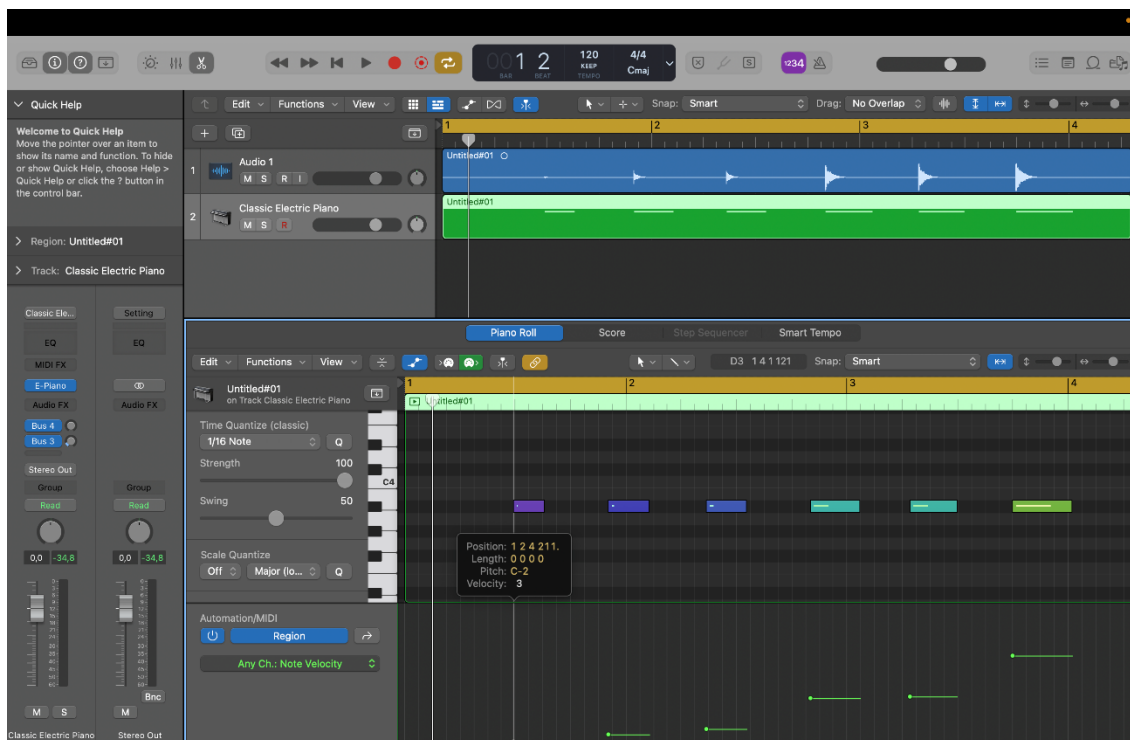
Obrázok 3.6 Tón c<sup>1</sup>, minimálna Note Velocity (Logic Pro)



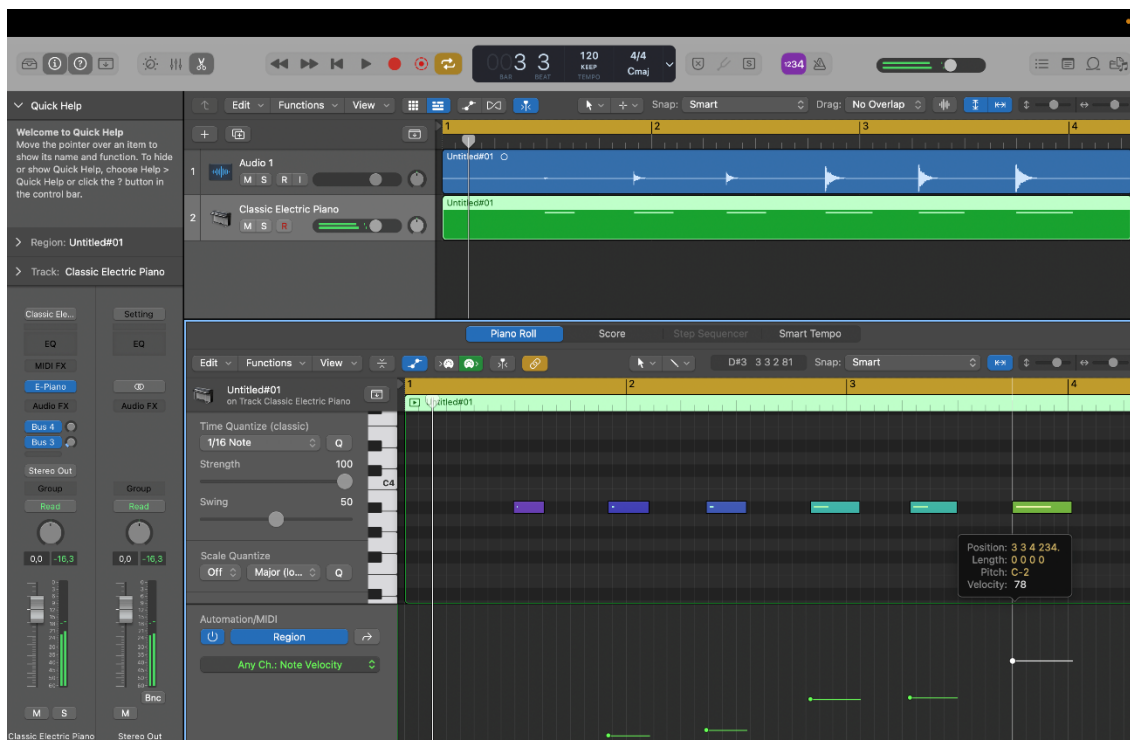
Obrázok 3.7 Tón c<sup>1</sup>, maximálna Note Velocity (Logic Pro)

Dynamický rozsah Note Velocity v tomto prípade vypočítame ako rozdiel najhlasnejšej a najtichšej noty:

$$DR = Vel_{MAX} - Vel_{MIN} = 35 - 1 = 34 \quad (3.4)$$



Obrázok 3.8 Tón a#<sup>1</sup>, minimálna Note Velocity (Logic Pro)



Obrázok 3.9 Tón a#1, maximálna Note Velocity (Logic Pro)

Dynamický rozsah Note Velocity tónu a#1 vypočítame podobne ako v predchádzajúcom prípade:

$$DR = Vel_{MAX} - Vel_{MIN} = 78 - 3 = 75 \quad (3.5)$$

Výsledky dynamického rozsahu Note Velocity nie sú úplne podľa predpokladov. Očakávalo by sa, že pre tón c<sup>1</sup> (rozmerovo väčší kameň) by dynamický rozsah mal byť širší, no kvôli výrazným rezonanciám kameňa na nízkych frekvenciách, to Logic Pro pomocou funkcie Flex Pitch vyhodnotil ako C (o 2 oktávy nižší tón) a následne amplitúdam priradil nízke hodnoty velocity.

Riešenie tohto problému pre rezonancie na nízkych frekvenciách by mohlo byť vhodné použitie a zaradenie High Pass filtru do nahrávacieho reťazca. Potom by to softvér vyhodnotil správne.

Pre tón a#<sup>1</sup> nevznikali výrazné rezonancie, preto sa podarilo do formy MIDI previesť správny tón a vyhovoval aj široký dynamický rozsah.

## 3.2 Meranie tlmenia kameňov piezoelektrickým snímačom

V tejto podkapitole sú výsledky meraní frekvenčných spektier pre tóny  $a\#^1$  a  $c^1$  pomocou kondenzátorového úzko membránového mikrofónu sE Electronics SE7.

Vyrobený bol aj prototyp plechového rezonátora, ktorý je umiestnený pod kameňmi. Frekvenčné spektrá sú zobrazované v programe WaveLab Pro 11.

### 3.2.1 Bez rezonátora

V tomto prípade je mikrofón namierený zvislo na kameň na miesto úderu paličkou vo vzdialenosti 15cm a na kameni je nalepený piezoelektrický snímač, taktiež na miesto úderu paličkou z opačnej strany (Obrázok 3.10).



Obrázok 3.10 Meranie bez rezonátora, tón  $c^1$  s nalepeným piezoelektrickým snímačom



Obrázok 3.11 Frekvenčné spektrum, tón  $c^1$  s nalepeným piezoelektrickým snímačom



Obrázok 3.12 Frekvenčné spektrum, tón  $c^1$  bez piezoelektrického snímača





Obrázok 3.13 Frekvenčné spektrum, tón a#<sup>1</sup> s nalepeným piezoelektrickým snímačom



Obrázok 3.14 Frekvenčné spektrum, tón a#<sup>1</sup> bez piezoelektrického snímača

Zo spektier je vidieť, že žiadne veľké frekvenčné rozdiely nenastali.

Pre tón c<sup>1</sup> je v vysoký nárast basových frekvencií v oblasti približne 65 Hz (Obrázok 3.11 a 3.12), fundament približne 260 Hz, ďalej sú výrazne formantové oblasti 660 Hz a 1,4 kHz. Frekvencia 1,4 kHz je mierne zatlmená piezoelektrickým snímačom, taktiež aj alikvótny tón v okolí 2 kHz.

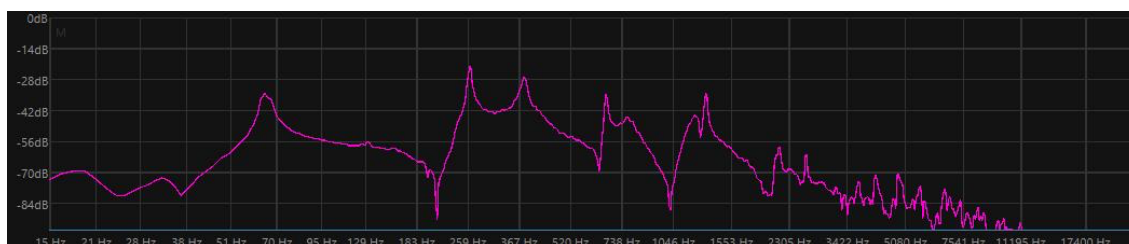
Pre tón a#<sup>1</sup> je fundament približne 475 Hz, a ďalej sú výrazné vyššie harmonické približne 1,6 kHz a 3,4 kHz.

### 3.2.2 S rezonátorom

Pri tomto meraní je použitý vyhotovený prototyp plechového rezonátora s priemerom 118mm, umiestnený pod miestom úderu paličkou. V rezonátore je zospodu mikrofón, smerujúci zvislo nahor na miesto úderu (Obrázok 3.15).



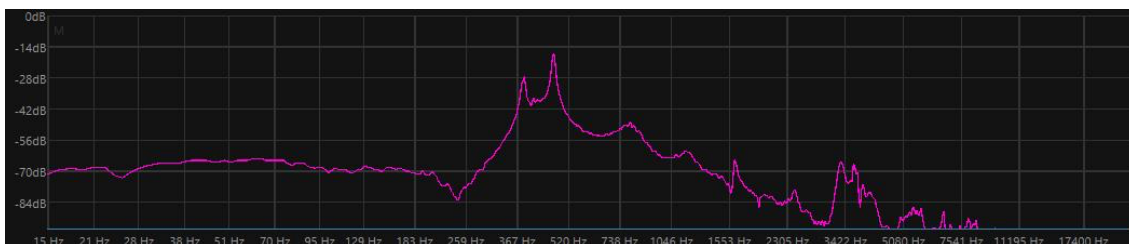
Obrázok 3.15 Meranie s rezonátorom, tón  $c^1$  s nalepeným piezoelektrickým snímačom



Obrázok 3.16 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón  $c^1$  s nalepeným piezoelektrickým snímačom



Obrázok 3.17 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón  $c^1$  bez piezoelektrického snímača



Obrázok 3.18 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón  $a\#^1$  s nalepeným piezoelektrickým snímačom



Obrázok 3.19 Frekvenčné spektrum s rezonátorom, tón  $a\#^1$  bez piezoelektrického snímača

Frekvenčné spektrá s rezonátorom sa opäť zásadne nelíšia, no môžeme vidieť malé zmeny.

Pre tón  $c^1$  sa vďaka rezonátoru podarilo utlmiť subbassovú oblasť okolo 30 Hz a piezoelektrický snímač to utlmil ešte viac, avšak frekvencia 65 Hz ostala stále pomerne výrazná. V porovnaní s meraním bez rezonátoru sa vyskytol výrazný formant v okolí približne 380 Hz. Piezoelektrický snímač jemne utlmil formanty 660 Hz a 1,4 kHz.

Pre tón  $a\#^1$  je spektrum takmer identické a nedá sa povedať, že piezoelektrický snímač utlmil frekvencie v spektre.

## 4. IMPLEMENTÁCIA

V tejto kapitole bude vysvetlený postup a funkcionálnosť pri výrobe snímača pre melodické bicie nástroje. Snímač je zhotovený pomocou piezoelektrického efektu s 12 snímačmi pre strednú oktávu marimby pripojený na mikrokontrolér, ktorý prenáša MIDI informácie do počítačového audio softvéru Logic Pro.

### 4.1 Zapojenie a testovanie

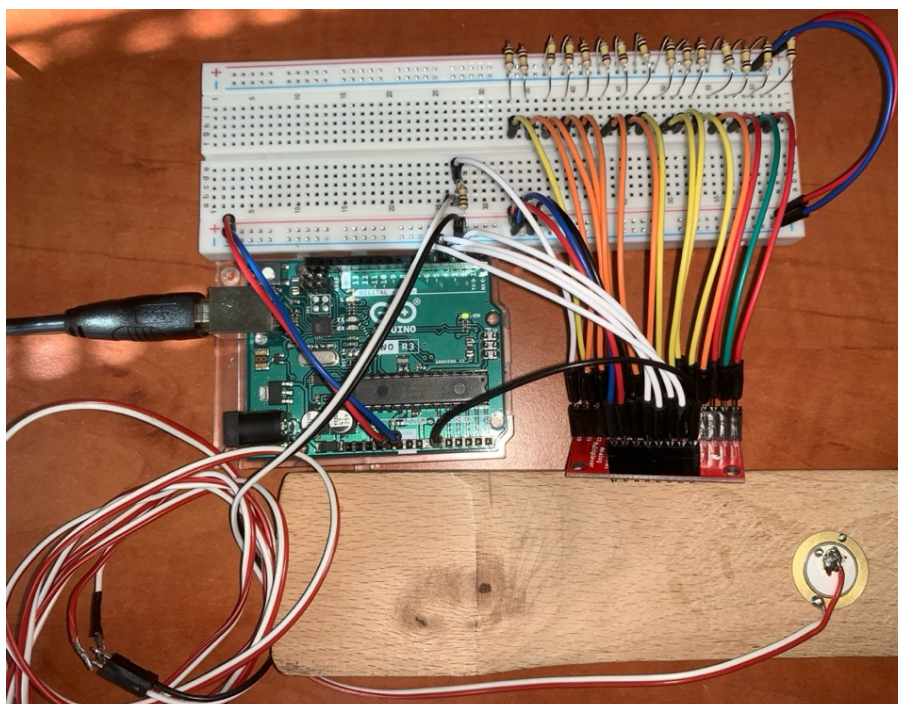
#### 4.1.1 Arduino Uno Rev 3 a 74HC4067 multiplexor

V prvom rade bolo potrebné zabezpečiť potrebné materiály a elektronické súčiastky pre výrobu. Od vedúceho tejto práce bolo odporúčané zakúpiť mikrokontrolér Arduino Uno Rev 3 ako hlavný mikrokontrolér na spracovanie signálov zo snímačov. Ako dodatok k tomu (kvôli malému počtu analógových vstupov) bolo potrebné zakúpiť 16 kanálový analógový multiplexor 74HC4067, ako rozšírenie analógových vstupov.

Následne boli zakúpené potrebné pomôcky ako piezoelektrické snímače, odporové zabezpečenie pre piezoelektrické snímače v podobe  $1M\Omega$ , kabeláž a breadboard (nepájivé pole).

Po naštudovaní manuálov a pinoutov boli funkcie Arduina a multiplexoru jasné. Najprv bolo potrebné prepojenie týchto dvoch komponentov.

Multiplexor 74HC4067 má 24 pinov, kde: Vcc a GND sú napájacie piny, na ktoré bolo privedené napätie 5V a GND z pinov Arduina. Pin multiplexora SIG je spoločný signálový pin, ktorý bol pripojený k analógovému vstupnému pinu na Arduino A0. Piny S0, S1, S2, S3 sú selekčné piny, ktoré riadia, ktorý kanál je aktívny. Tieto piny boli pripojené k digitálnym pinom na Arduino 2, 3, 4 a 5. EN je enable pin, ktorý bol pripojený na GND, aby bol multiplexor stále aktívny. C0 - C15 sú vstupné/výstupné kanály, na ktoré boli pripojené piezoelektrické snímače. Piezoelektrické snímače majú 2 piny. Živé piny snímača boli pripojené k príslušným kanálom multiplexora a druhé boli pripojené na GND. Paralelne na snímače boli pripojené  $1M\Omega$  rezistory. Zapojenie je na obrázku 4.1.



Obrázok 4.1 Fotografia zapojenia Arduina s multiplexorom

Z obrázku je vidieť, že bol testovaný jeden piezoelektrický snímač, pripojený do jedného z analógových vstupov multiplexora. Takto boli otestované zaradom všetky vstupné piny multiplexora. Na prázdne piny boli pripojené “pull-down“ rezistory o hodnote  $100\text{k}\Omega$  z dôvodu javu nazývaného “floating pin“. To je bežný jav pri analógových vstupoch, ktoré nie sú pripojené k žiadnej referenčnej hodnote (vákuum). Vstupy bez pripojenia môžu zachytávať náhodný šum z okolia alebo z iných častí obvodu, čo môže viesť k tomu, že na týchto vstupoch sa objavia náhodné hodnoty.

Arduino bolo pripojené k notebooku pomocou USB-A kábla. Hardvérové zapojenie bolo vyriešené a následne bolo potrebné naprogramovať funkcionality mikrokontroléra napísaním kódu v programe Arduino IDE ako na obrázku 4.2.

```

#include <Arduino.h>

#define SIG_PIN A0 // Signálový pin pripojený na pin SIG na multiplexore
#define S0 2 // Výber pinov pripojených k digitálnym pinom na Arduino
#define S1 3
#define S2 4
#define S3 5

float filteredValue = 0;
float alpha = 0.2; // Koefficient filtra pre citlivosť

int threshold = 10; // Prah pre citlivejšie detekovanie úderu
int debounceTime = 70; // Čas na debouncing pre zabránenie viacnásobnej detekcie
unsigned long lastHitTime = 0;

void setup() {
  pinMode(S0, OUTPUT);
  pinMode(S1, OUTPUT);
  pinMode(S2, OUTPUT);
  pinMode(S3, OUTPUT);
  Serial.begin(31250); // Rýchlosť sériovej komunikácie pre MIDI
}

void loop() {
  for (int i = 0; i < 16; i++) {
    selectMuxChannel(i);
    int rawValue = analogRead(SIG_PIN);
    filteredValue = alpha * rawValue + (1 - alpha) * filteredValue;

    if (filteredValue > threshold && (millis() - lastHitTime) > debounceTime) {
      lastHitTime = millis();
      int midiVelocity = map(filteredValue, 0, 100, 0, 127);
      sendMIDIMessage(0x90, 60, midiVelocity, i % 16 + 1); // Odoslanie MIDI noty C (nota číslo 60) na kanál i
    }
  }
}

void selectMuxChannel(int channel) {
  digitalWrite(S0, (channel & 0x01));
  digitalWrite(S1, (channel & 0x02));
  digitalWrite(S2, (channel & 0x04));
  digitalWrite(S3, (channel & 0x08));
}

void sendMIDIMessage(byte command, byte note, byte velocity, byte channel) {
  byte statusByte = command | (channel - 1); // Skombinovanie príkazu s číslom kanála
  Serial.write(statusByte);
  Serial.write(note);
  Serial.write(velocity);
}

```

Obrázok 4.2 Zdrojový kód pre použitie Arduina s multiplexorom v Arduino IDE

V tomto kóde bola použitá knižnica `Arduino.h`, ktorá obsahuje základné funkcie a makrá potrebné pre prácu s arduinom. Ďalej sú definované globálne premenné pomocou `#define`. „`filteredValue`“ je premenná, ktorá ukladá filtrovanú hodnotu čítania z analógového pinu. „`alpha`“ je koefficient pre exponenciálny pohyblivý priemer (EMA), ktorý slúži na filtrovanie hodnôt pre zníženie šumu. „`threshold`“ je prahová hodnota, nad ktorou sa považuje detekcia za platnú. „`debounceTime`“ je čas, ktorý sa musí uplynúť medzi dvoma detekciami, aby sa predišlo viacnásobným detekciám. „`lastHitTime`“ uchováva čas poslednej platnej detekcie.

Vo funkcii „`setup`“ sú nastavené piny multiplexora S0 až S3 ako výstupné, pretože budú použité na výber kanálov na multiplexoru. „`Serial.begin(31250)`“ nastavuje sériovú komunikáciu na rýchlosť 31250 baud, čo je štandardná rýchlosť pre MIDI komunikáciu.

V hlavnej slučke kód prechádza cez všetkých 16 kanálov multiplexoru. Pre každý kanál:

Vyberie kanál pomocou „selectMuxChannel(i)“.

Číta analógovú hodnotu z „SIG\_PIN“ pomocou „analogRead(SIG\_PIN)“.

Aktualizuje „filteredValue“ pomocou exponenciálneho pohyblivého priemeru.

Ak je filtrovaná hodnota väčšia ako prahová hodnota a uplynul dostatočný čas od poslednej detekcie (debounceTime), vykoná nasledujúce:

Aktualizuje „lastHitTime“ na aktuálny čas.

Mapuje filtrovanú hodnotu na MIDI Velocity (0-127) pomocou „map(filteredValue, 0, 100, 0, 127)“.

Odošle MIDI správu pomocou „sendMIDIMessage(0x90, 60, midiVelocity, i % 16 + 1)“, kde 0x90 je príkaz pre MIDI note on, 60 je číslo noty (nota C), midiVelocity je rýchlosť noty a  $i \% 16 + 1$  je kanál MIDI.

Funkcia „selectMuxChannel“ nastaví piny S0 až S3 tak, aby zodpovedali danému kanálu. Používa sa tu bitová maska na nastavenie jednotlivých pinov.

Funkcia „sendMIDIMessage“ odošle MIDI správu. Kombinuje MIDI príkaz s číslom kanála, aby vytvorila status byte, a následne pošle status byte, číslo noty a velocity noty cez sériovú linku.

#### 4.1.2 ESP32-S3 Dev Kit N8R8

Odstupom času a naštudovaním internetových webstránok, bola premyslená zámena mikrokontroléru Arduino Uno Rev 3 za ESP32-S3 Dev Kit N8R8. Tu sú kľúčové výhody, ktoré táto zmena priniesla:

##### **Výkonnostné Zlepšenie**

*Vyšší výpočtový výkon:* ESP32-S3 má výrazne vyšší výkon vďaka jeho viacjadrovému procesoru a vyššej taktovej frekvencii. To umožňuje rýchlejšie spracovanie dát a efektívnejšie vykonávanie viacerých úloh súčasne.

*Väčšia pamäť:* ESP32-S3 poskytuje väčšiu RAM a flash pamäť, čo umožňuje zložitejšie softvérové aplikácie a schopnosť ukladať viac dát priamo na zariadení.

##### **Rozšírená Funkcionalita**

*Viac vstupov a výstupov:* ESP32-S3 má viac GPIO pinov v porovnaní s Arduino Uno, čo umožňuje pripojiť viac snímačov alebo iných periférnych zariadení.

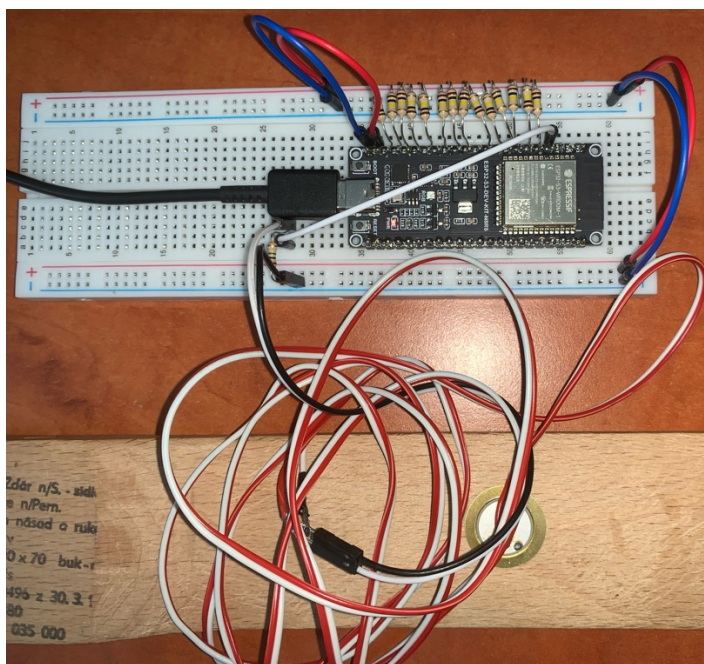
*Analog-to-Digital Konverzia:* ESP32-S3 má viac a lepších ADC (Analog-to-Digital Converter) kanálov, čo zlepšuje presnosť a rýchlosť čítania analógových signálov z piezoelektrických snímačov.

### **Integrované Bezdrôtové Možnosti**

*Wi-Fi a Bluetooth:* ESP32-S3 má zabudovanú podporu pre Wi-Fi a Bluetooth, čo otvára nové možnosti pre bezdrôtovú komunikáciu a vzdialené ovládanie.

Použitie tohto mikrokontroléru prinieslo mnoho spomínaných výhod. Zapojenie nevyžaduje použitie multiplexora, čo výrazne zjednodušuje obvod a taktiež znižuje latenčné problémy.

Zapojenie bolo oveľa jednoduchšie. Piezoelektrické snímače boli pripojené na GPIO piny mikrokontroléru ESP32-S3 a vybraté boli piny s ADC funkciou. Zapojenie pre testovanie je na obrázku 4.3.



Obrázok 4.3 Fotografia zapojenia s ESP32-S3 DevKit N8R8

Opäť je z fotografie vidieť, že je zapojený len jeden piezoelektrický snímač, na ktorý je paralelne vyvedený  $1\text{M}\Omega$  rezistor. Na ostatné funkčné piny (tie, ktoré sú zahrnuté v kóde) sú pripojené pull-down rezistory na GND o hodnote  $100\text{k}\Omega$ .

Mikrokontrolér je pripojený k notebooku pomocou USB-C kábla. Hardvérové zapojenie bolo vyriešené a následne bolo potrebné naprogramovať funkčnosť mikrokontroléra napísaním kódu v programe Arduino IDE, ktorý je na obrázku 4.4.



```

#include <Arduino.h>
#include <BLEMidi.h>

// GPIO piny použité ako analógové vstupy
const int analogPins[] = { 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 12, 13, 14 }; // Konkrétne GPIO piny pripojené k piezo snímačom
const int numSensors = sizeof(analogPins) / sizeof(analogPins[0]); // Počet senzorov

// MIDI noty pre každý kanál
const byte midiNotes[] = { 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 }; // MIDI noty pre jednotlivé kanály

// Nastavenie filtrácie úderov
float filteredValues[numSensors] = { 0 }; // Pole pre uschovanie filtrovaných hodnôt pre každý senzor
float alpha = 0.1; // Filtrovací koeficient (nižší koeficient pre lepšiu filtráciu)

// Nastavenie detekcie úderov
int threshold = 100; // Prah citlivosti snímačov
int debounceTime = 30; // Čas odozvy v ms na zabránenie viacnásobným detekciám (zvýšený debounce čas)
int releaseThreshold = 100; // Prahová hodnota poklesu pre ukončenie detekcie úderu
unsigned long lastHitTime[numSensors] = { 0 }; // Čas posledného zásahu na snímač
bool noteOnState[numSensors] = { false }; // Stav pre sledovanie, či je nota stále aktívna

void setup() {
  for (int i = 0; i < numSensors; i++) {
    pinMode(analogPins[i], INPUT);
  }
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Initializing BLE MIDI");
  BLEMidiServer.begin("Marimba sensors"); // Inicializácia servera BLE MIDI
  Serial.println("Waiting for connections...");
}

void loop() {
  if (BLEMidiServer.isConnected()) {
    for (int i = 0; i < numSensors; i++) {
      int rawValue = analogRead(analogPins[i]);
      filteredValues[i] = alpha * rawValue + (1 - alpha) * filteredValues[i]; // Použitie low pass filtra

      if (filteredValues[i] > threshold && (millis() - lastHitTime[i]) > debounceTime) {
        lastHitTime[i] = millis();
        int midiVelocity = map(filteredValues[i], 50, 3000, 0, 127); // Mapovanie rozsahu ADC na MIDI Velocity
        sendMIDIMessage(0x90, midiNotes[i], midiVelocity, i + 1); // Posielanie MIDI informácie na základe indexu snímača
        Serial.print("Channel: ");
        Serial.print(i + 1);
        Serial.print(", Raw Value: ");
        Serial.print(rawValue);
        Serial.print(", Filtered Value: ");
        Serial.print(filteredValues[i]);
        Serial.print(", MIDI Velocity: ");
        Serial.println(midiVelocity);
        noteOnState[i] = true; // Označenie, že nota je aktívna
      }

      // Check if the note should be turned off
      if (noteOnState[i] && filteredValues[i] < releaseThreshold) {
        sendMIDIMessage(0x80, midiNotes[i], 0, i + 1); // Posielanie note off správy
        noteOnState[i] = false; // Označenie, že nota bola vypnutá
      }
    }
  }
}

void sendMIDIMessage(byte command, byte note, byte velocity, byte channel) {
  BLEMidiServer.noteOn(channel - 1, note, velocity); // Nastavenie kanála pre API s indexom 0
  delay(10); // Krátke oneskorenie pre zabezpečenie odoslania správy
  BLEMidiServer.noteOff(channel - 1, note, velocity); // Posielanie note off správy
}

```

Obrázok 4.4 Zdrojový kód pre použitie ESP32 v Arduino IDE

Tento Arduino kód využíva piezoelektrické snímače k detekcii úderov a odosielanie MIDI správ pomocou BLE (Bluetooth Low Energy).

Používa knižnice „Arduino.h“, ktorá poskytuje základné funkcie a definície pre prácu s mikrokontrolérmi a „BLEMidi.h“, ktorá umožňuje ESP32 fungovať ako MIDI zariadenie cez Bluetooth.

Ďalej sú deklarované konštatné premenné: „analogPins[]“ je pole obsahujúce čísla GPIO pinov, ku ktorým sú pripojené piezoelektrické snímače. „numSensors“ je premenná, ktorá počítá počet prvkov v poli „analogPins“, čo je počet pripojených snímačov. „midiNotes[]“ je pole obsahujúce MIDI noty (60 je C4, 61 je C#4, atď.), ktoré

budú priradené jednotlivým kanálom. „filteredValues[]“ je pole pre uchovanie filtrovaných hodnôt z každého snímača. „alpha“ je filtrovací koeficient pre jednoduchý low-pass filter. „threshold“ je prahová hodnota pre detekciu úderu. „debounceTime“ je čas v milisekundách pre zabránenie opakovaným detekciám jedného úderu (debouncing). „releaseThreshold“ je prahová hodnota pre ukončenie detekcie úderu. „lastHitTime[]“ je pole pre uchovanie časov posledných úderov pre každý snímač. „noteOnState[]“ je pole pre sledovanie stavu, či je nota aktívna alebo nie pre každý snímač.

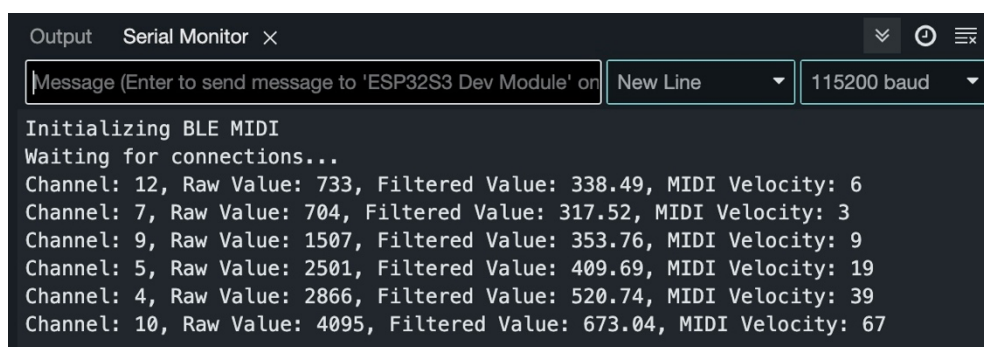
Vo funkcií „setup“: „pinMode(analogPins[i], INPUT)“ nastaví všetky piny pripojené k piezoelektrickým snímačom ako vstupné. „Serial.begin(115200)“ inicializuje sériovú komunikáciu pre ladenie s prenosovou rýchlosťou 115200 baudov. „BLEMidiServer.begin("Marimba sensors")“ inicializuje BLE MIDI server s názvom "Marimba sensors".

V hlavnej slučke: „if (BLEMidiServer.isConnected())“ kontroluje, či je BLE MIDI server pripojený. Pre každý snímač je prečítaná analógová hodnota snímača pomocou „int rawValue = analogRead(analogPins[i])“, je aplikovaný low-pass filter na hodnotu senzora pomocou „filteredValues[i] = alpha \* rawValue + (1 - alpha) \* filteredValues[i]“.

Ak filtrovaná hodnota prekročí prahovú hodnotu a uplynul dostatočný čas od poslednej detekcie (debounceTime): Aktualizuje „lastHitTime“ na aktuálny čas a mapuje filtrovanú hodnotu na MIDI Velocity (0-127) pomocou „map(filteredValues[i], 300, 1000, 0, 127)“.

Odosieľa MIDI správu pomocou „sendMIDIMessage(0x90, midiNotes[i], midiVelocity, i + 1)“, kde 0x90 je príkaz pre MIDI note on, „midiNotes[i]“ je príslušná nota a „midiVelocity“ je jej hlasitosť.

„Serial.print“ a „Serial.println“ vypisuje diagnostické informácie o aktuálnom údere na sériový monitor, ako je možné vidieť na obrázku 4.5.



```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32S3 Dev Module' on New Line 115200 baud
Initializing BLE MIDI
Waiting for connections...
Channel: 12, Raw Value: 733, Filtered Value: 338.49, MIDI Velocity: 6
Channel: 7, Raw Value: 704, Filtered Value: 317.52, MIDI Velocity: 3
Channel: 9, Raw Value: 1507, Filtered Value: 353.76, MIDI Velocity: 9
Channel: 5, Raw Value: 2501, Filtered Value: 409.69, MIDI Velocity: 19
Channel: 4, Raw Value: 2866, Filtered Value: 520.74, MIDI Velocity: 39
Channel: 10, Raw Value: 4095, Filtered Value: 673.04, MIDI Velocity: 67
```

Obrázok 4.5 Printscreen z Arduino IDE

Tieto informácie boli užitočné pri kalibrácii piezoelektrických snímačov v prostredí Arduino IDE.

Ďalej „noteOnState[i] = true“ nastaví stav noty na aktívnu. Ak je nota aktívna a filtrovaná hodnota klesne pod „releaseThreshold“, odošle sa MIDI správa pre vypnutie

noty pomocou „sendMIDIMessage(0x80, midiNotes[i], 0, i + 1)“ a „noteOnState[i]“ sa nastaví na false, čo označuje, že nota bola vypnutá.

Funkcia „void sendMIDIMessage(byte command, byte note, byte velocity, byte channel)“ odosiela MIDI správy. „BLEMidiServer.noteOn(channel - 1, note, velocity)“ odošle MIDI správu Note On cez BLE MIDI server. „delay(10)“ je krátke oneskorenie pre zaistenie odoslania správy. „BLEMidiServer.noteOff(channel - 1, note, velocity)“ odošle MIDI správu Note Off cez BLE MIDI server.

## 4.2 Integrácia s MIDI

### 4.2.1 Arduino Uno Rev 3 a 74HC4067 multiplexor

Pre odosielanie MIDI správ z Arduina do zvukového softvéru ako napríklad Logic Pro, je nevyhnutná komplexnejšia konfigurácia. Napríklad za pomoci „MocoLUFA“. [24]

MocoLUFA je projekt, ktorý umožňuje Arduino Uno a ďalším Arduino kompatibilným doskám fungovať ako natívne USB MIDI zariadenia. LUFA (Lightweight USB Framework for AVR) je knižnica pre USB, ktorá umožňuje jednoduchú implementáciu rôznych USB zariadení na mikrokontroléroch AVR, ako je ATmega328 použitý v Arduino Uno.

MocoLUFA nahradzuje pôvodný firmvér na ATmega16U2 čipe, ktorý funguje ako USB-to-Serial prevodník na Arduino Uno, alternatívnym firmvérom, ktorý umožňuje USB MIDI funkcionality. To znamená, že po nahratí MocoLUFA firmvéru, vaše Arduino Uno bude rozpoznané ako USB MIDI zariadenie namiesto štandardného sériového zariadenia.

Najprv bolo potrebné stiahnuť potrebné súbory vrátane predkompilovaného HEX súboru „dualMoco.hex“ zo stránky projektu na Githubu [24]. Pre operačný systém MacOS bolo ďalej potrebné nainštalovať „avrdude“, čo je nástroj na nahrávanie firmvéru do mikrokontrolérov. Na MacOS bol nainštalovaný pomocou Homebrew:

```
/bin/bash -c "$(curl -fsSL
https://raw.githubusercontent.com/Homebrew/install/HEAD/install.sh)"
brew install avrdude
```

Potom bolo Arduino Uno pripojené k počítaču pomocou USB kábla a bolo overené, že Arduino IDE rozpoznalo Arduino Uno. Bol resetovaný ATmega16U2 čip na Arduino Uno. Použitím vodiča alebo kovového nástroja bol skratovaný resetovací pin s GND pinom na malej hlavičke blízko USB konektora. Toto uviedlo ATmega16U2 do bootloader režimu. Pripojenie bolo overené pomocou terminálu a zadaním príkazu na zistenie dostupných sériových portov:

```
ls /dev/tty.*
```

Bolo vyhľadané zariadenie podobné /dev/tty.usbmodemXXXX, kde XXXX bolo sériové číslo zariadenia.

Bol použitý avrdude na nahranie MocoLUFA firmvéru do ATmega16U2 čipu. Predpokladalo sa, že HEX súbor dualMoco.hex bol uložený v aktuálnom adresári a /dev/tty.usbmodemXXXX bol nahradený správnym sériovým portom:

```
avrdude -p atmega16u2 -c avr109 -U flash:w:dualMoco.hex -P /dev/tty.usbmodemXXXX
```

Po úspešnom nahraní firmvéru bolo Arduino Uno odpojené a znovu pripojené k MacBooku.

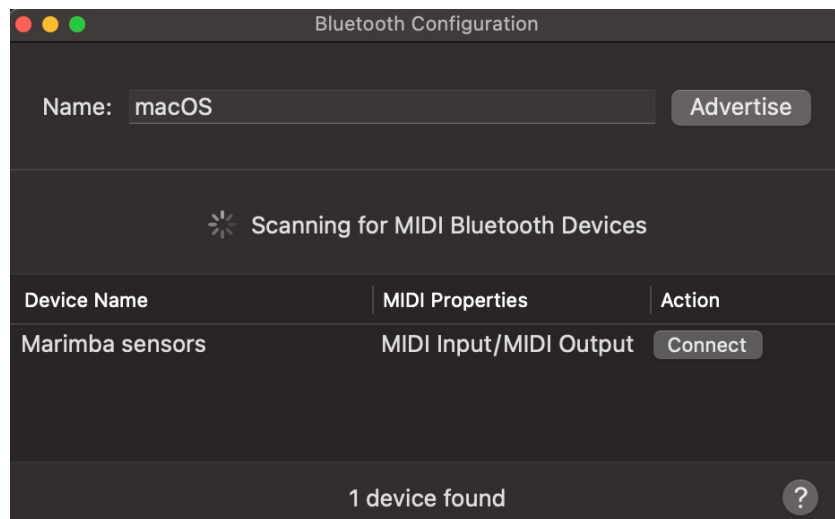
Bol otvorený "Audio MIDI Setup" (nachádzajúci sa v Applications > Utilities), vybrala sa záložka "MIDI Studio" a bolo skontrolované, či bolo Arduino rozpoznané ako MIDI zariadenie.

#### 4.2.2 ESP32-S3 Dev Kit N8R8

Použitím mikrokontroléru ESP32-S3 sa výrazne zjednodušil prevod do MIDI a zároveň využil bezdrátový prenos pomocou Bluetooth funkcie. BLE MIDI je plne kompatibilné s tradičným MIDI protokolom, čo znamená, že všetky MIDI správy (napr. Note On, Note Off, Control Change) môžu byť prenášané cez BLE bez akejkoľvek zmeny. To umožňuje bezproblémovú integráciu s existujúcimi MIDI zariadeniami a softvérom.

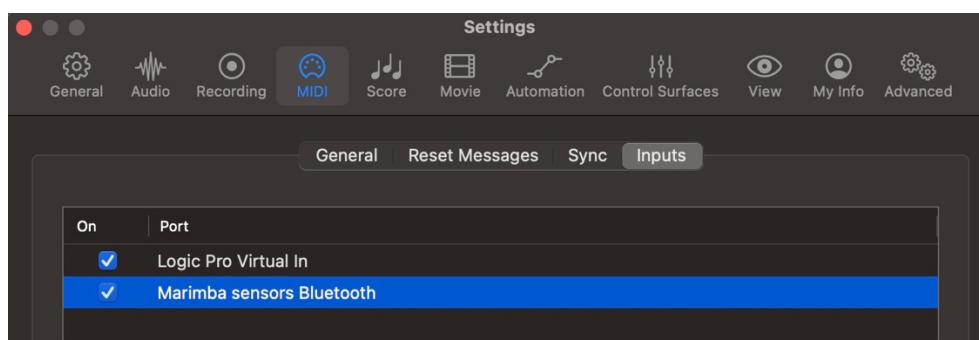
Po nahraní spomínaného kódu do Arduino IDE je vďaka knižnici „BLEMidi.h“ zabezpečený bezproblémový prevod do MIDI. Zariadenie stačí zapojiť pomocou USB-C kábla k počítaču, alebo jednoducho do siete pomocou adaptéru. Následne je zariadenie pripravené k Bluetooth párovaniu.

Na zaradeniach s operačným systémom macOS sa stačí uistiť že je Bluetooth zapnutý a následne otvoriť aplikáciu „Audio MIDI Setup“ (je súčasťou macOS). V záložke „Window“ > „Show MIDI Studio“ > „Open Bluetooth Configuration...“ sa zobrazí zariadenie, ako na obrázku 4.6.



Obrázok 4.6 Screenshot z MIDI Bluetooth Configuration

Po pripojení k zariadeniu je ďalej potrebné otvoriť DAW (v tomto prípade Logic Pro) a uistiť sa, že zariadenie bolo rozpoznané v nastaveniach MIDI ako na obrázku 4.7 (Logic Pro > Settings > MIDI... >Inputs).

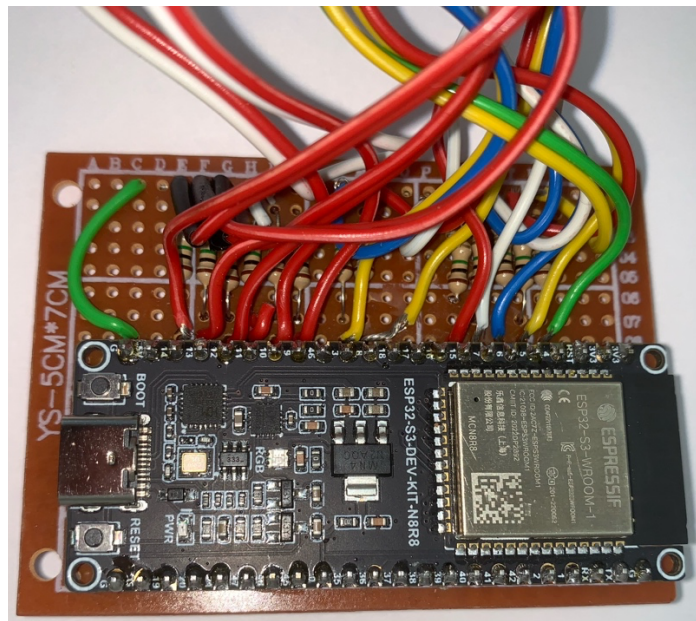


Obrázok 4.7 Screenshot z Logic Pro, MIDI zariadenia

### 4.3 Výroba snímača

Použitie mikrokontroléru ESP32-S3 bolo najvhodnejšou variantou pre finálnu verziu snímača. Výhodnejší voči použitiu Arduina a multiplexora bol vo viacerých oblastiach. Napríklad jeho fyzickými kompaktnými rozmermi, výkonom, Bluetooth funkcionalitou a dostatočným počtom analógových vstupov.

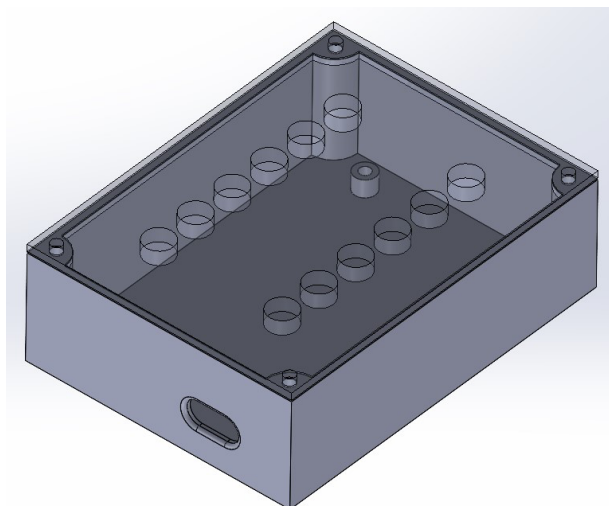
Pre výrobu finálneho zariadenia bola zaobstaraná univerzálna doska plošných spojov, na ktorú bol naspajkovaný mikrokontrolér,  $1\text{M}\Omega$  rezistory a vývody piezoelektrických snímačov, ako je na obrázku 4.8.



Obrázok 4.8 Fotografia naspajkovaného zariadenia

Z pinu GND mikrokontroléru ESP32-S3 bol vyvedený vodič, ktorý vytváral spoločné uzemnenie pre “neživé” vývody piezoelektrických snímačov a rezistorov. “Živé” vývody rezistorov a piezoelektrických snímačov boli pripojené k jednotlivým GPIO pinom ako je uvedené v Arduino IDE kóde.

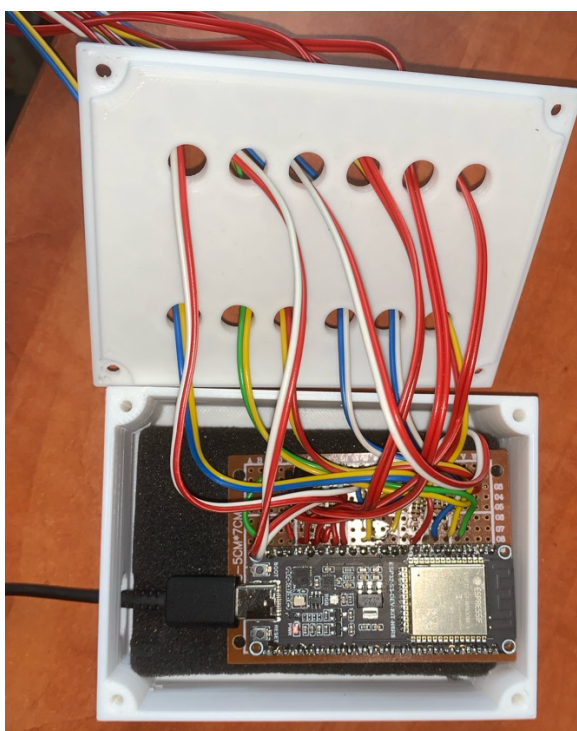
Následne bola v programe SolidWorks navrhnutá krabička pre zariadenie, ktorá je na obrázku 4.9.



Obrázok 4.9 Návrh krabičky z programu SolidWorks

Návrh sa skladal z dvoch častí. Prvá je vršok krabičky s otvormi pre piezoelektrické snímače. Druhá je spodná časť, ktorá obsahuje otvor pre USB-C kábel dierky v rohoch pre skrutky.

Následne bola krabička vytlačená v 3D tlačiarňi značky Kingroon KP3S Pro S1. Na obrázku 4.10 je výsledné zariadenie.



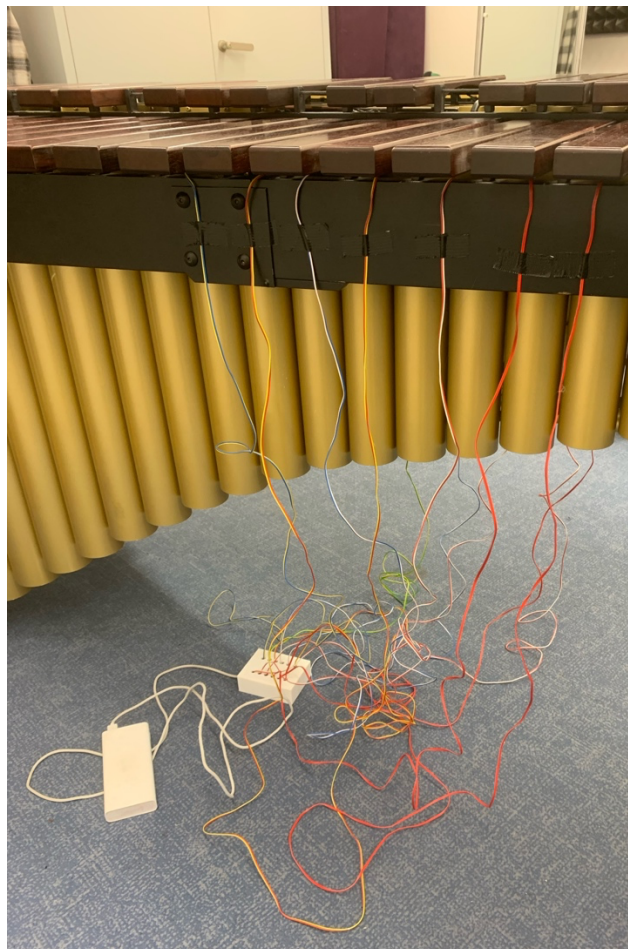
Obrázok 4.10 Fotografia finálneho zariadenia

## 4.4 Kalibrácia

Pre kalibráciu bol vytvorený nový projekt v Logic Pro ako „External MIDI“ s dvanástimi MIDI stopami, kde každej stopa bol priradený vlastný MIDI kanál zo zariadenia Marimba sensors.

Kalibrácia prebiehala v priestoroch Janáčkovej akadémie múzických umení v Brne po namontovaní zariadenia na strednú oktávu marimby. Bola zameraná na úpravu premenných hodnôt v kóde, za zámerom doceliť čo najširší dynamický rozsah pri údere. Hra na marimbe bola prevedená skúseným hráčom na melodické bicie nástroje, pánom Filipom Zázvorkou.

Snímače boli nalepené na kamene marimby pomocou špeciálnej lepiacej hmoty, určenej pre inštaláciu piezoelektrických snímačov na akustické nástroje. Vývody piezoelektrický snímačov museli byť prilepené ku konštrukcii marimby kvôli zabráneniu posielaniu nežiadúcich MIDI informácií z dôvodu buchnutia do kabeláže. Takto boli snímače od kabeláže odizolované. Zariadenie bolo napájané z powerbanky značky Xiaomi. Inštalácia zariadenia je na obrázku 4.11.



Obrázok 4.11 Fotografia inštalácie zariadenia na marimbu



## 5. ZÁVER

Tento projekt bol zameraný na vývoj a implementáciu dynamických snímačov pre kamene melodických bicích nástrojov, konkrétne marimby, s cieľom dosiahnuť čo najširší dynamický rozsah bez zmeny pôvodnej farby tónu. Cieľom bolo vytvoriť systém, ktorý dokáže presne zachytiť dynamiku hry na marimbe a previesť tieto informácie do formy MIDI správ, ktoré môžu byť následne spracované v digitálnej audio pracovnej stanici (DAW) Logic Pro X.

Projekt sa skladal z viacerých fáz, vrátane analýzy piezoelektrického snímania, návrhu a montáže hardvéru, programovania, generovania MIDI správ, a konečne integrácie BLE MIDI s Logic Pro X a výslednej kalibrácii. Na začiatku bolo potrebné detailne pochopiť teoretické aspekty týkajúce sa melodických bicích nástrojov, marimby, mikrokontrolérov a elektronických komponentov.

Po teoretickom zázemí nasledovala kapitola, ktorej obsahom bola analýza snímania piezoelektrickým snímačom Harley Benton HB-T a ďalej jeho vplyv na tlmenie tónov marimby, ktorý bol meraný úzkomembránovým kondenzátorovým mikrofónom sE Electronics SE7 pomocou externej zvukovej karty M-Audio Air 192|4. Pri nahrávaní a analýze boli použité tóny c1 a a#1. Tento výber tónov bol vhodný práve kvôli diferencii vo fyzických rozmeroch daných kameňov. Analýza ukázala, že je toto snímanie vhodné pre použitie v projekte.

Nasledovala praktická časť, kde bol navrhnutý a zostavený hardvér, naprogramovaný mikrokontrolér a vykonané testovanie celého zariadenia. Počas realizácie projektu bol využitý mikrokontrolér ESP32-S3 Dev Kit N8R8 spolu s dvanástimi piezoelektrickými snímačmi. ESP32 bol zvolený pre svoje výkonné schopnosti a možnosť komunikácie cez Bluetooth Low Energy (BLE), čo umožnilo bezdrôtový prenos MIDI správ. Piezoelektrické snímače boli použité pre ich vysokú citlivosť na mechanické vibrácie, čo zabezpečilo presnú detekciu úderov na jednotlivé kamene marimby.

Funkčnosť a rýchlosť odozvy snímačov je postačujúca. Môže byť ale obmedzená viacerými aspektmi. To napríklad rýchlosťou procesoru mikrokontroléru a zároveň hrá podstatnú rolu Bluetooth komunikácia. Odozva snímačov je taktiež pri nahrávaní závislá na použitej zvukovej karte, nastavením veľkosti medzipamäte (buffer size).

Piezoelektrické snímače sú veľmi citlivé, a preto je dynamický rozsah obmedzený len pri veľmi silných nárazoch na kamene marimby. Umiestnenie je individuálne pre každý tón a snímač, no väčšinou bol snímač nalepený približne v jednej tretine dĺžky kameňa, pre snímanie nižšej citlivosti.

Výsledný snímač má potenciál ako experimentálny, efektívny doplnok pre melodické bicie nástroje, kde by bol surový akustický zvuk doplnený o zvuky z VST databáň. Ako rozšírenie by mohlo poslúžiť pedálový spínač (footswitch) pre zapínanie a vypínanie mikrokontroléru počas skladieb, pre docielenie zmeny zvuku.

## LITERATÚRA

- [1] GOSS, Thomass. *Orchestration Tip: Harmonic Spectra of Xylophone vs. Marimba*. Online. 2020. Dostupné z: <https://orchestrationonline.com/orchestration-tip-harmonic-spectra-of-xylophone-vs-marimba/>. [cit. 2023-12-13].
- [2] YAMAHA CORPORATION. *There is craft to the design of the tone plates, too*. Online. 2023. Dostupné z: [https://www.yamaha.com/en/musical\\_instrument\\_guide/marimba/mechanism/mechanism003.html](https://www.yamaha.com/en/musical_instrument_guide/marimba/mechanism/mechanism003.html). [cit. 2023-12-13].
- [3] YAMAHA CORPORATION. *What kind of instrument is the marimba?* Online. 2023. Dostupné z: [https://www.yamaha.com/en/musical\\_instrument\\_guide/marimba/mechanism/](https://www.yamaha.com/en/musical_instrument_guide/marimba/mechanism/). [cit. 2023-12-10].
- [4] ZAMAZAL, Václav. *Hudební nástroje před mikrofonom*. Praha: Supraphon, 1975.
- [5] FLETCHER, Neville H., ROSSING, Thomas D. *The Physics of Musical Instruments*, Second Edition, Springer, © 1998 Springer Science+ Business Media New York Originally published by Springer Science+ Business Media, Inc. in 1998 Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1998, ISBN 978-1-4419-3120-7 [2] CHAIGNE, Antoine, KERGOMARD Jean. *Acoustics of Musical Instrument*, Springer-Verlag New York 2016, 2364-4923
- [6] WONGSISI, Weng. *Melodic Percussion Instrument*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/257029545/Melodic-Percussion-Instrument-Teachers-Copy>. [cit. 2023-12-10].
- [7] MILLEA, Joe. *What is the Marimba?* Online. 2022. Dostupné z: <https://www.heartlandmarimba.com/articles/what-is-the-marimba>. [cit. 2023-12-10].
- [8] ARDUINO. *What is Arduino?* [online]. 2018 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [9] ARDUINO. *Arduino Uno Rev3* [online]. 2024 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- [10] WAVESHARE. *ESP32-S3-DEV-KIT-N8R8* [online]. 2024 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: <https://www.waveshare.com/wiki/ESP32-S3-DEV-KIT-N8R8>
- [11] ELECTRONICS TUTORIALS. *The Multiplexer*. Online. 2024. Dostupné z: [https://www.electronics-tutorials.ws/combinational/comb\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/combinational/comb_2.html). [cit. 2024-05-14].
- [12] MAKERS LAB. *CD74HC4067 16 Channel Analog Multiplexer Demultiplexer*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.makerslab.it/cd74hc4067-16-channel-analog-multiplexer-demultiplexer/>. [cit. 2024-05-14].
- [13] *Logic Pro*. Online. 2024. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Logic\\_Pro](https://en.wikipedia.org/wiki/Logic_Pro). [cit. 2024-05-14].

- [14] SWIFT, Andrew. *An introduction to MIDI*. Online. 2010. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20120830211425/http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise\\_97/journal/vol1/aps2/](https://web.archive.org/web/20120830211425/http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol1/aps2/). [cit. 2023-12-10].
- [15] HAHN, Michael. *What Is MIDI? How To Use the Most Powerful Tool in Music*. Online. 2023. Dostupné z: <https://blog.landr.com/what-is-midi/>. [cit. 2023-12-10].
- [16] WALKER, Martin. *MIDI Dynamics*. Online. 2007. Dostupné z: <https://www.soundonsound.com/techniques/midi-dynamics>. [cit. 2023-12-10].
- [17] *WHAT IS BUFFER SIZE? (A PRODUCER'S GUIDE WITH FAQ)*. Online. 2022. Dostupné z: <https://producerhive.com/ask-the-hive/what-is-buffer-size-a-producers-guide-with-faq/>. [cit. 2024-05-14].
- [18] AVNET. Piezoelectric pressure sensors. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/core-technologies/piezoelectric/> [cit. 2023-12-04].
- [19] APC. *How Piezoelectric Sensors Work*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.americanpiezo.com/blog/how-piezo-sensors-work/>. [cit. 2023-12-10].
- [20] THOMANN. *Harley Benton HB-T* [online]. 2023 [cit. 2023-12-13]. Dostupné z: [https://www.thomann.de/cz/harley\\_benton\\_hbt.htm](https://www.thomann.de/cz/harley_benton_hbt.htm)
- [21] VLACHÝ, Václav. *Praxe zvukové techniky*. Praha: Muzikus, 1995. ISBN 80-901537-6-3.
- [22] SE ELECTRONICS. *SE7*. Online. 2023. Dostupné z: <https://seelectronics.com/products/se7/>. [cit. 2023-12-13].
- [23] AUDIOSORCERER. *Understanding RMS in Audio: A Beginner's Guide*. Online. 2023. Dostupné z: <https://audiosorcerer.com/post/rms-in-audio/#:~:text=To%20calculate%20the%20full%20RMS,overall%20loudness%20of%20the%20signal>. [cit. 2023-12-13].
- [24] KUWATA, Yoshitaka. *MocoLUFa*. Online. 2015. Dostupné z: <https://github.com/kuwatay/mocolufa>. [cit. 2024-05-14].

## ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

### Skratky:

ADC	Analogue to Digital Converter
AMEI	Association for Musical Electronics Industry
API	Application Programming Interface
BLE	Bluetooth Low Energy
CCN	Continuous Controller Number
CPU	Central Processing Unit
DAW	Digital Audio Workstation
GM	General MIDI
GND	Ground
GPIO	General-purpose input/output
IDE	Integrated Development Environment
IoT	Internet of Things
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
MMA	MIDI Manufacturers Association
OS	Operating System
PWM	Pulse Width Modulation
RMS	Root Mean Square
SMF	Standard MIDI File Format
TMA	The MIDI Association
USB	Universal Serial BuS

### Symboly:

<i>DR</i>	dynamický rozsah	(dB)
F	frekvencia	(Hz)
I	elektrický prúd	(A)
L	úroveň hlasitosti	(dB)
R	elektrický odpor	( $\Omega$ )
U	elektrické napätie	(V)
Vel	velocity	

## 6. OBSAH ELEKTRONICKEJ PRÍLOHY

Elektronická príloha obsahuje kompletný zdrojový kód v prostredí Arduino IDE pre použitie mikrokontroléru Arduino Uno Rev 3 s multiplexorom CD74HC4067 a taktiež aj mikrokontroleru ESP32-S3. Taktiež obsahuje súbory vytvorenej krabičky v programe SolidWorks. Ďalej príloha obsahuje video, ktoré je ukázkou funkčnosti výsledného zariadenia pri hre na hudobný nástroj marimba.

koreňový adresár priloženého archívu

- |— 0\_Odkaz na video.rtf
- |— 1\_ArduinoMux\_code.ino
- |— 2\_ESP32\_code.ino
- |— 3\_Top\_box.STL
- |— 4\_Bottom\_box.STL