

Modul MP3 přehrávače na bázi mikropočítačové vývojové desky Raspberry Pi Pico

Jiří Ohnút



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jiří Ohnút
Osobní číslo: A22025
Studijní program: B0613A140020 Softwarové inženýrství
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Modul MP3 přehrávače na bázi mikropočítačové vývojové desky Raspberry Pi Pico
Téma práce anglicky: MP3 Player Module Based on the Raspberry Pi Pico Microcontroller Development Board

Zásady pro vypracování

- Zpracujte literární rešerši na dané téma.
- Provedte hardwarový návrh modulu MP3 přehrávače na bázi mikropočítačové vývojové desky Raspberry Pi Pico.
- Prakticky zrealizujte modul MP3 přehrávače.
- Vytvořte programové vybavení modulu zajišťující základní funkcionality MP3 přehrávače – správa přehrávaných souborů a složek, podpora ID3 tagů.
- Ověřte správnou funkci modulu MP3 přehrávače.

Seznam doporučené literatury:

1. JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. *EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka* .: 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2.
2. MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATME1 AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. μ C & praxe. ISBN 80-7300-077-6.
3. Raspberry Pi Ltd. *Raspberry Pi Pico Datasheet: An RP2040-based microcontroller board*. [online]. 2024 [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/>.
4. Raspberry Pi Ltd. *Getting started with Raspberry Pi Pico-series: C/C++ development with Raspberry Pi Pico-series and other Raspberry Pi microcontroller-based boards*. [online]. 2024 [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/>.
5. VLSI Solution. *VS1053b Datasheet: VS1053b – Ogg Vorbis/MP3/AAC/WMA/FLAC/ MIDI Audio Codec Circuit*, Rev. 1.32. [online]. 2024 [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.vlsi.fi>.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Dostálek, Ph.D.
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **27. října 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2025**



L.S.

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. listopadu 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací MP3 přehrávače pomocí Raspberry Pi Pico. Teoretická část se zabývá literární rešerší o MP3 přehrávačích. Cílem praktické části je vytvořit funkční zařízení schopné přehrávat zvukové soubory ve formátu MP3 a OGG z paměťové SD karty, s důrazem na nízké náklady, jednoduchost a využití běžně dostupných komponent.

Klíčová slova: MP3, Eagle, Arduino, Raspberry Pi

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and implementation of an MP3 player using Raspberry Pi Pico. The theoretical part deals with a literature search on MP3 players. The practical part aims to create a functional device capable of playing MP3 and OGG audio files from an SD memory card, with an emphasis on low cost, simplicity and the use of commonly available components.

Keywords: MP3, Eagle, Arduino, Raspberry Pi

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Petru Dostálkovi Ph.D. za obrovskou pomoc při zpracování a vedení během mé bakalářské práce. Chtěl bych také poděkovat za všechnen čas a trpělivost které mi věnoval během psaní a realizaci mé bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 MIKROPOČÍTAČOVÉ SYSTÉMY A RASPBERRY PI PICO.....	13
1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA MIKROPOČÍTAČŮ	13
1.2 ROZDĚLENÍ MIKROPOČÍTAČŮ	13
1.2.1 Podle architektury	13
1.2.2 Podle instrukční sady	15
1.3 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY MIKROPOČÍTAČE	15
1.4 RASPBERRY PI PICO	16
1.4.1 Základní parametry	16
1.5 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ PRO PROGRAMOVÁNÍ.....	17
1.5.1 MicroPython.....	17
1.5.2 C a C++	17
1.6 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ RASPBERRY PI PICO.....	17
1.6.1 SPI.....	18
1.6.2 I2C.....	18
1.6.3 UART.....	18
2 MP3 PŘEHRÁVAČE, JEJICH HISTORIE A ZVUKOVÉ KODEKY.....	19
2.1 MP3 PŘEHRÁVAČE.....	19
2.1.1 MP3 Přehrávače s připojením k internetu.....	20
2.1.2 MP3 Přehrávače s pamětí.....	20
2.1.3 Princip fungování MP3 přehrávačů	20
2.2 HISTORIE MP3 PŘEHRÁVAČŮ.....	21
2.2.1 Historie Analogového Přehrávání Zvuku.....	21
2.2.2 Historie Digitálního Přehrávání Zvuku	22
2.3 ZVUKOVÉ KODEKY V MP3 PŘEHRÁVAČÍCH.....	23
2.3.1 Kodek MP3	24
2.3.2 Kodek OGG Vorbis.....	24
2.3.3 Formát Wav.....	25
2.3.4 Kodek AAC.....	25
2.3.5 Kodek FLAC	26
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
3 NÁVRH A REALIZACE MP3 PŘEHRÁVAČE	28
3.1 SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK	28
3.2 HARDWAROVÝ NÁVRH MP3 MODULU	29
3.3 HARDWAROVÁ ČÁST	29
3.3.1 Návrh ovládání MP3 modulu	30

3.3.2	Prototyp zapojení součástek na nepájivém poli	30
3.3.3	Návrh desky plošných spojů.....	32
3.3.4	Osazení a pájení desky plošných spojů	38
3.3.5	Převody Napěťových úrovní	44
3.4	SOFTWAREVÁ ČÁST.....	44
3.4.1	Výběr vývojového prostředí.....	44
3.4.2	Použité knihovny.....	44
3.4.3	Funkce MP3 Přehrávače (Playlisty, Loop, Čtení MP3 tagů)	45
ZÁVĚR.....		48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		49
SEZNAM OBRÁZKŮ		52
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		53
SEZNAM PŘÍLOH.....		54

ÚVOD

V posledních letech dochází k výraznému rozvoji mikrokontrolérů a jednodeskových počítačů, které nacházejí uplatnění v široké škále aplikací od jednoduchých domácích projektů až po složité průmyslové systémy. Jedním z takových zařízení je Raspberry Pi Pico, který díky své nízké ceně, malé velikosti a flexibilitě představuje ideální platformu pro různé embedded projekty. Cílem této práce je navrhnout a realizovat MP3 přehrávač využívající mikropočítačovou desku Raspberry Pi Pico. Zařízení by mělo být schopné přehrávat zvukové soubory uložené na paměťové kartě a poskytovat základní ovládací prvky (např. přehrávání, pauza, playlisty, podpora ogg a wav souborů). V teoretické části jsou popsány základní vlastnosti mikrokontrolérů, architektura Raspberry Pi Pico, dostupná vývojová prostředí a komunikační rozhraní. Praktická část se zaměřuje na návrh hardwaru a softwaru MP3 přehrávače, jeho sestavení a testování funkčnosti.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 MIKROPOČÍTAČOVÉ SYSTÉMY A RASPBERRY PI PICO

Mikropočítačové systémy představují základní stavební kámen moderních elektronických zařízení, která vyžadují efektivní zpracování dat a řízení různých procesů. Mezi oblíbené zástupce těchto systémů patří také Raspberry Pi Pico, které nabízí cenově dostupné, výkonné a flexibilní řešení pro širokou škálu projektů v oblasti embedded systémů.

1.1 Základní charakteristika mikropočítačů

Mikropočítač je počítač, který musí obsahovat alespoň jednu centrální procesorovou jednotku (CPU), operační paměť a vstupně/výstupní zařízení. Mikropočítače dnes najdeme skoro v každém elektronickém zařízení, např. v dopravních prostředcích, chytrých domácnostech, kde se mikropočítač používá na různé činnosti, např. otevírání a zavírání oken, ovládání osvětlení, regulace topení atd.

Výhodou mikropočítačů je jejich univerzálnost, díky které stačí mikropočítač naprogramovat k potřebné činnosti, připojit potřebné periferie a napájení a funguje. [6] [8]

1.2 Rozdělení mikropočítačů

Mikropočítače můžeme rozdělit:

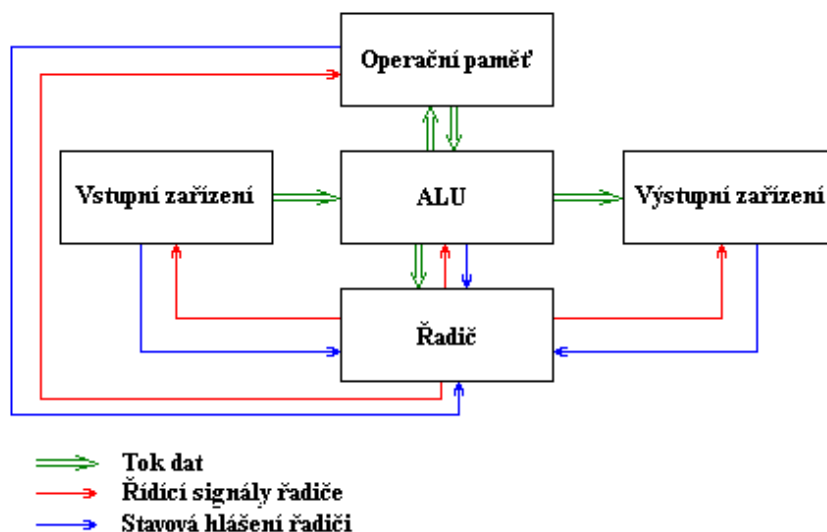
- podle architektury
- podle instrukční sady

1.2.1 Podle architektury

Architektura mikropočítače je jedním z klíčových faktorů, který ovlivňuje jeho výkon. Využívají se dvě hlavní základní architektury – architektura podle Von Neumanna a Harvardská architektura, popř. jejich kombinace. [6]

Von Neumannova architektura

Von Neumannova architektura se vyznačuje tím, že procesor může současně provádět pouze čtení nebo zápis buď dat, nebo instrukcí. Tento princip je důsledkem toho, že data i program (instrukce) sdílejí stejnou paměť a propojovací obvody. To vede k sekvenčnímu zpracování informací, což má za následek nižší rychlost oproti jiným архитектурám. [9]

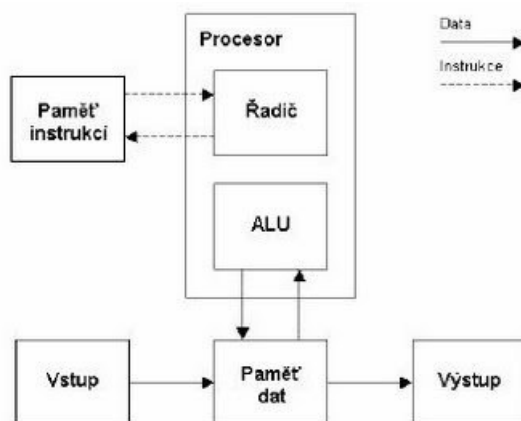


Obrázek 1 Von Neumannova Architektura

(zdroj: [13])

Harvardská architektura

Harvardská architektura se od Von Neumannovy architektury liší tím, že odděluje paměť pro program a paměť pro data, a jejich propojující obvody. U této architektury nemusí mít paměti pro program a data stejné parametry, mohou se lišit například v délce slova, časování, technologii nebo způsobu adresování. Navíc mohou být použity různé typy pamětí, jako je ROM a RAM, což umožňuje paralelní přístup k oběma pamětem. Tento paralelní přístup výrazně zvyšuje rychlost zpracování, protože umožňuje současnou práci s daty a instrukcemi. [9]



Obrázek 2 Harvardská architektura

(zdroj: [14])

1.2.2 Podle instrukční sady

Instrukční sada mikropočítače představuje soubor operací, které může procesor vykonávat. Mikropočítače se podle instrukčních sad dělí na dvě kategorie:

- CISC (Complex Instruction Set Computing)
- RISC (Reduced Instruction Set Computing)

V dnešní době je běžné CISC a RISC sady kombinovat.

CISC

Mikropočítače založené na architektuře CISC obsahují rozsáhlou sadu instrukcí, které zahrnují složité operace, jež jsou uloženy přímo v paměti procesoru. Tyto instrukce dokážou kombinovat více jednoduchých operací do jedné komplexní, čímž šetří místo v paměti programu. Na druhou stranu však mohou mít negativní vliv na dobu zpracování, protože jejich vykonání je náročnější. [6]

RISC

Mikropočítače RISC obsahují omezenou instrukční sadu, tzn. většina instrukcí má stejnou délku a vykonávají se v jednom instrukčním cyklu. Tato sada má nižší dobu zpracování a vyšší rychlost, za cenu větší velikosti programu, protože složitější instrukce (které by v CISC zabraly 1 instrukci), nahrazují v RISC několik jednodušších instrukcí, což je na paměť programu náročnější. [6]

1.3 Základní komponenty mikropočítače

Z hlediska architektury, většina dnešních mikropočítačů vychází z von Neumannovy architektury, kde jsou program (posloupnost instrukcí) a data uloženy v jedné paměti.

U mikropočítačů můžeme najít následující základní bloky:

- Operační paměť – uchovává vstupní data, výstupní data a programové instrukce ve formě binárních čísel
- Řadič – postupně dekóduje z operační paměti programové instrukce a generuje signály pro obsluhu ostatních bloků mikropočítače

- Aritmeticko-logická jednotka (ALU) – provádí aritmetické a logické operace podle signálů řadiče. ALU může být doplněno registry pro uložení mezivýsledků (RALU).
- Vstupně/Výstupní jednotka – umožňuje mikropočítači komunikovat s vnějším prostředím (I/O) prostřednictvím připojených zařízení
- Blok registrů – bývá součástí ALU a řadiče, kde slouží k dočasnému ukládání dat během výpočtů, nebo mezivýsledků operací ALU. Když je v jedné součástce obsaženo ALU, blok registrů a řadič, označujeme součástku jako mikroprocesor (CPU). [7]

1.4 Raspberry Pi Pico

Raspberry Pi Pico je levný, vysoce výkonný jednočipový mikropočítač od firmy Raspberry Pi Foundation. Tento mikrokontroler je navržen pro embedded systémy. Na rozdíl od klasických modelů Raspberry Pi je Raspberry Pi Pico mikrokontrolerem bez operačního systému, určený pro řízení hardwaru v reálném čase.

1.4.1 Základní parametry

- RP2040 čip mikrokontroleru
- Dvoujádrový procesor Arm Cortex-M0+ s taktováním až do 133 MHz
- 2 MB flash paměti
- 264 KB SRAM paměti
- 26 GPIO pinů
- 2 x SPI, 2 x I2C, 2 x UART
- 3 kanálový, 12 bitový ADC
- 16 pinů s pulzně šířkovou modulací
- Časovač a Clock integrované v čipu
- 8 programovatelných I/O (PIO) stavových automatů umožňujících implementaci vlastních periférií [3]

1.5 Vývojové prostředí pro programování

Programovací prostředí představuje kombinaci nástrojů, pravidel a filozofie, která je spjata s konkrétním programovacím jazykem. Výběr vhodného prostředí je klíčový pro efektivní vývoj softwaru, protože každý jazyk má svá specifika, přednosti i omezení.

Výběr vývojového prostředí se odvíjí od specifických požadavků projektu, osobních preferencí a cílové platformy, pro kterou je software vyvíjen. Pochopení charakteristik jednotlivých programovacích prostředí je proto nezbytné pro efektivní a úspěšné řešení vývojových úloh.

1.5.1 MicroPython

MicroPython je plná implementace programovacího jazyka Python 3, která běží přímo na vestavěném hardwaru, jako je například Raspberry Pi Pico. Nabízí interaktivní příkazový řádek (REPL), který umožňuje okamžité vykonávání příkazů prostřednictvím USB serial a vestavěný souborový systém. Verze MicroPythonu pro Pico obsahuje moduly pro přístup k nízkoúrovňovému hardwaru specifickému pro tento čip. [3]

1.5.2 C a C++

C je kompilovaný programovací jazyk nízké úrovně s minimalistickým designem. C++ je jeho rozšířená verze, která nabízí podporu pro různé programovací paradigmy, jako jsou procedurální, objektové a generické programování. C a C++ nabízejí vysoký výkon, plnou kontrolu nad hardwarem a širokou podporu knihoven pro periferie. Raspberry Pi Pico poskytuje C API pro přístup k periferiím bez nutnosti manipulace s registry. Také je to jazyk, který je podporovaný v Arduino IDE. [3]

1.6 Komunikační rozhraní Raspberry Pi Pico

Raspberry Pi Pico podporuje několik různých komunikačních protokolů, např.

- SPI
- I2C
- UART

1.6.1 SPI

Sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface) je sériová sběrnice určená pro komunikaci mezi mikroprocesory. Jeden obvod funguje jako řadič (master), který generuje hodinový signál, zatímco ostatní obvody jsou podřízené (slave). Hodinový signál je šířen vodičem označeným jako SCK. Kromě tohoto vodiče jsou uzly propojeny dvěma vodiči, obvykle označenými jako MISO (Master In, Slave Out) a MOSI (Master Out, Slave In), které umožňují obousměrný přenos dat (full duplex). Tento systém umožňuje synchronní obousměrný přenos dat mezi připojenými zařízeními. [10]

1.6.2 I2C

Sběrnice I2C (Inter-IC-bus) je dvouvodičové propojení mezi jedním nebo více procesory (Masters) a periferními zařízeními (Slaves). Všechna zařízení jsou připojena k jedné sběrnici a vybírána na základě svých adres. Adresy a data jsou přenášena po stejných vodičích. Sběrnice umožňuje snadné propojení integrovaných obvodů a jednoduché rozšiřování systému.

Na sběrnici I2C mohou být připojeny všechny integrované obvody podporující její protokol, jako jsou RAM, EEPROM, obvody pro rozšíření portů, A/D a D/A převodníky, hodinové obvody a speciální obvody jako budiče displejů či audio a video technika. Sběrnice používá sériovou datovou linku SDA a linku hodinového signálu SCL, přičemž data a adresy jsou přenášeny společně s hodinovými impulsy. Obě linky jsou obousměrné a vybavené pull-up odporem. Každý účastník může linky stahovat na nízkou úroveň pomocí výstupu s otevřeným kolektorem. [11]

1.6.3 UART

UART (Univerzální asynchronní přijímač-vysílač) je jedním z nejběžněji používaných komunikačních protokolů pro přenos dat mezi zařízeními. Při správném nastavení může UART podporovat různé typy sériových protokolů pro přenos a příjem dat. Sériová komunikace přenáší data po jednotlivých bitech pomocí jednoho vodiče nebo linky. Pro obousměrnou komunikaci jsou k přenosu dat využívány dva vodiče. Tento způsob přenosu vyžaduje méně obvodů a vodičů, což vede k nižším nákladům na implementaci. [12]

2 MP3 PŘEHRÁVAČE, JEJICH HISTORIE A ZVUKOVÉ KODEKY

Vývoj digitálních technologií zásadně proměnil způsob, jakým lidé poslouchají hudbu. MP3 přehrávače přinesly přenositelnost a snadný přístup k hudebnímu obsahu, čímž ovlivnily jak hudební průmysl, tak každodenní zvyklosti posluchačů. Tato kapitola stručně mapuje historický vývoj těchto zařízení a klíčových zvukových formátů, které umožnily efektivní ukládání a přehrávání digitálního zvuku.

2.1 MP3 Přehrávače

MP3 Přehrávače jsou podle definice přenosné zařízení, které slouží k poslechu hudebních souborů. MP3 přehrávače mají různé formy, např. mohou být připojené k internetu, přehrávat soubory z vnitřní paměti, nebo např. v mém případě, přehrávat soubory z externího média (SD karta/ Přenosný Flash Disk apod.) Hudební soubory mohou mít různé kodeky, ale primárně by měly přehrávače podporovat kodek MP3. Další kodeky a jejich vlastnosti budu popisovat v podkapitole 2.3.

Samotné komponenty MP3 přehrávače se můžou podle zařízení lišit, ale v základu by měly obsahovat:

- Data port
- Paměť
- Mikroprocesor
- Procesor pro zpracování digitálního signálu (DSP)
- Displej
- Ovládací prvky přehrávání (tlačítka/potenciometry, atd...)
- Audio port
- Zesilovač
- Napájení (nejčastěji baterie)

[15]

2.1.1 MP3 Přehrávače s připojením k internetu

MP3 přehrávače vybavené připojením k internetu, často označované jako internetové MP3 přehrávače, rozšiřují možnosti tradičních zařízení o přístup k online hudebním službám, podcastům a dalším formám digitálního obsahu. Na rozdíl od klasických přehrávačů, které slouží primárně k přehrávání lokálně uložených souborů, umožňují tato zařízení streamování a interaktivní využití internetových médií.

2.1.2 MP3 Přehrávače s pamětí

Na rozdíl od dřívějších form přehrávačů hudby, jako např. Walkman, nebo CD Walkman, MP3 přehrávače využívají obvykle polovodičové paměti (SSD). MP3 přehrávače jsou ve své podstatě pouze zařízení pro ukládání dat s vloženou funkcí pro převod MP3 souborů do samotného přehrávače (dekodéru). MP3 přehrávače s pamětí také podporují možnost uspořádání souborů do tzv. playlistů.

[15]

MP3 přehrávače obvykle obsahují jeden druh, nebo kombinaci druhů z následujících pamětí:

- Vnitřní Flash paměť
- Paměťové karty (např. SD, CompactFlash, SmartMedia, Memory Stick, ...)
- Interní mikropevný disk (microdrive – malý pevný disk)

[15]

2.1.3 Princip fungování MP3 přehrávačů

Hlavní součástí a mozkiem MP3 přehrávačů je mikroprocesor. Mikroprocesor zpracovává signály z ovládacích prvků přehrávače a zobrazuje informace o přehrávané skladbě na displej. Poté mikroprocesor odesílá informace na procesor pro zpracování digitálního signálu, kde se zpracuje audio signál.

Přímý postup přehrávače je následující:

- Mikroprocesor vezme z paměti soubor s písničkou
- Mikroprocesor dekóduje MP3 soubor přes DSP pomocí dekódovacího algoritmu
- Mikroprocesor pošle dekódované data přes DA převodník, aby z digitálních dat získal zvukové vlny, které posílá na zesilovač
- Zesilovač zesílí analogový výstup, a ten je poté veden na přehrávací médium (reproduktory/ sluchátka)

[15]

2.2 Historie MP3 Přehrávačů

Na počátku 80. let zahájila skupina Moving Picture Experts Group (MPEG) vývoj standardu pro kompresi digitálního zvuku, který později vedl ke vzniku formátu MP3 (MPEG-1 Audio Layer III). Tento formát, vyvinutý inženýry z Fraunhoferova institutu, umožnil výrazné zmenšení velikosti zvukových souborů při minimální ztrátě kvality, čímž se stal klíčovým milníkem v oblasti distribuce digitální hudby.

[16]

2.2.1 Historie Analogového Přehrávání Zvuku

Jedny z prvních přenosných zařízení pro přehrávání zvuku byly magnetofonové pásky. Jako jedno z prvních zařízení schopné přehrávat hudbu můžeme označit originální výrobek od firmy Sony zvaný Walkman. Walkman je zařízení, které přehrávalo zvuk pomocí audiokazet. Audiokazety byly první médium pro ukládání zvukového záznamu co bylo přenosné (po gramofonových deskách a např. fonografovém válci). Audiokazety se od sebe navzájem lišily, nejčastěji podle délky uloženého hudebního záznamu. Nejpopulárnějším formátem audiokazet byl typ C46, který umožňoval přehrávání 23 minut zvuku na jedné straně pásky. Audiopásky však měly mnoho nedostatků, jako např. prach, který snadno mohl poškodit záznam na pásce, nebo mechanické opotřebení opakovaným přehráváním, což postupně zhoršilo kvalitu přehrávaného zvuku.

[17]

2.2.2 Historie Digitálního Přehrávání Zvuku

Kvůli nevýhodám analogového přehrávání (snadné opotřebení paměťových médií), ke konci sedmdesátých let proběhl další pokrok v přehrávání hudby – digitalizaci. Digitalizace je proces při kterém se analogové informace převádí do číslicové formy (obvykle do binární soustavy). Díky digitalizaci vznikl prostor pro jedno z prvních digitálních médií, tj. kompaktní disk.

Původní kompaktní disk měl tloušťku 1,2 mm a byl potažen tenkou vrstvou kovu. Data se na disk ukládaly ve spirále, začínající od středu disku a končící na okraji. Binární jedničky a nuly se poté na kompaktní disk zapisovaly ve formě plošek a prohlubní, resp. Změnami mezi nimi (přechod mezi ploškou a prohlubní znamená bin. 1, a když byla např. dlouhá ploška nebo prohlubeň, šlo o bin. 0). Na kompaktní disky bylo možné zapisovat jak zvukové data, tak i např. počítačové programy. Maximální délka záznamu na kompaktním disku měla být úvodně 60 minut, podle dřívějších gramofonových desek, ale firma Sony prosadila maximální délku 74 minut 33 sekund, podle Beethovenovy Deváté symfonie. Dnešní kompaktní disky mají obvykle 80 minut záznamu, tj. 700 MB záznamu.

Kompaktní disky nabízely jako hlavní výhodu daleko větší odolnost oproti magnetickým páskám a gramofonovým deskám, a také větší úložiště. S vynálezem kompaktních disků bylo potřeba také nového přenosného zařízení, co by bylo schopné přehrávat kompaktní disky. Jako jeden z prvních přístrojů, co toho byl schopný byl Discman od firmy Sony. Kvůli nespolehlivosti přehrávání (otřesy mohly způsobit přeskokování záznamu) probíhal dále vývoj, a kolem začátku 21. století byl ustanoven název CD walkman, který si firma Sony nechala registrovat pod ochrannou známkou.

Kolem této doby už i další firmy vyráběly své Discmany, které podporovaly přehrávání formátu MP3 a daly se vypalovat pomocí počítače na disk CD. Díky tomu, že MP3 je kompresní formát se kapacita zařízení zdánlivě zvětšila, protože se MP3 souborů vešlo na disk více. Kolem této doby (rok 1998) se však už začaly objevovat první MP3 přehrávače, obvykle s integrovanou flashovou pamětí. Úvodní modely pracovaly se soubory které měly vlastní formát od firmy Sony – ATRAC3. Tento formát se však nesetkal s úspěchem a vývoj těchto přehrávačů byl ukončen. V roce 2001 však přišla na trh firma Apple s ikonickým kapesním přehrávačem s názvem iPod. iPod měl připojení k internetu, a z portálu iTunes si mohli uživatelé nakupovat hudbu. Původní iPod měl kapacitu paměti 5GB a ačkoliv používal formát souborů AAC, stal se nejlépe prodávaným kapesním přehrávačem, který si svou popularitu udržel v podstatě dodnes.

Výhodou dnešních MP3 je fakt, že uložené soubory se při opakovaném přehrávání nepoškozuji, na rozdíl od Discmana nehrozí přeskakování stopy a nehrozí poškození souborů prachem. Následně díky tomu že je paměť integrovaná (není nutné nosit více CD, obvykle stačí nahrát soubory do zařízení např. pomocí USB), jsou tyto přehrávače ideálním příkladem přenosného zařízení.

V současnosti už se setkáváme spíše s integrovanými přehrávači hudby přímo v mobilních telefonech. Díky tomu že mobilní telefon je samo o sobě přenosné zařízení, a má i další funkce jako připojení k internetu, stává se tak nejvhodnějším přenosným přehrávačem, protože můžeme naše soubory spravovat přímo z mobilního telefonu (hudbu můžeme streamovat, nebo stahovat z internetu), bez nutnosti připojovat zařízení k PC

[17]

2.3 Zvukové Kodeky v MP3 Přehrávačích

MP3 přehrávače podporují širokou škálu zvukových kodeků, kde podpora jednotlivých kodeků většinou závisí na hardwarovém a programovém vybavení daného přehrávače.

V této podkapitole se budu zaměřovat na tyto kodeky / formáty:

- MP3
- OGG Vorbis
- WAV
- AAC
- FLAC

2.3.1 Kodek MP3

Z audio formátů specifikovanými MPEG/MPEG-2 standardy je MPEG-1 Audio Layer III také známý jako MP3 nejznámější a nejvíce rozšířený audio kodek. MPEG je definován jako otevřený standard, tzn. jeho specifikace jsou veřejně dostupné a může je implementovat jakýkoliv výrobce bez nutnosti licenčních poplatků. Jeho výhodou je jeho dostupnost a podpora na většině zařízení. MPEG-1 audio funguje pro mono i stereo signály. Layer III podporuje kódování stereofonního signálu, jak metodou mid/side stereo, tak kódování na základě intenzity (intensity stereo), což přispívá k efektivnější kompresi zvuku. MP3 formát pracuje s 16bitovou bitovou hloubkou, což odpovídá kvalitě zvuku na úrovni CD.

Vzorkovací frekvence se dělí pro MPEG-1 a MPEG-2:

- MPEG-1 definuje vzorkovací frekvence: 32kHz, 44,1kHz a 48kHz
- MPEG-2 rozšiřuje tyto frekvence o poloviční hodnoty: 16kHz, 22,05kHz a 24kHz

Výběr datového toku zkomprimovaného souboru je v rámci mezí ponechán na rozhodnutí implementátora, který MPEG audio kodér implementuje:

- Pro Layer-3 standardy je definované rozhraní datových toků od 8kbit/s po 320kbit/s
- Layer-3 dekodéry také musí podporovat proměnlivé datové toky

[18]

2.3.2 Kodek OGG Vorbis

Kodek OGG Vorbis je otevřený bezlicenční a bezpatentový formát pro kompresi zvuku. Je určen pro střední až vysokou kvalitu přehrávání. OGG Vorbis podporuje pevný i proměnný datový tok a jeho kvalita přehrávání je srovnatelná s kodeky jako AAC, WMA nebo MP3, přičemž často nabízí lepší efektivitu komprese.

Hlavní parametry OGG Vorbis jsou:

- Pro vzorkovací frekvenci můžeme použít 8 až 48kHz
- OGG Vorbis podporuje proměnlivý datový tok od 16-128 kbit/s na kanál, tzn. až 256 kbit/s pro stereo
- Typická bitová hloubka začíná od 16 bitů, ale může být vyšší pro zachování vysoké kvality zvuku [19]

2.3.3 Formát Wav

Formát Wav (Waveform Audio File Format) je nekomprimovaný, bezztrátový formát, který je podobně jako MP3 velmi rozšířený. Jeho využití bývá nejčastěji v profesionální audio produkci, kde nechceme kompresí ztratit audio kvalitu nahrávky, nebo při vývoji softwaru a her. Jeho nevýhodou je oproti ostatním formátům velikost jednotlivých souborů, protože neprovádíme kompresi, což ho činí užitečným právě pro profesionální produkci, kde potřebujeme kvalitní zvuk a nevádí nám větší soubory. Jeho další výhodou je velké množství API a aplikací schopné jednoduše převádět Wav na ostatní komprimované formáty, jako MP3, AAC, atd...

Hlavní parametry Wav formátu jsou:

- Formát Wav podporuje vzorkovací frekvence od 8-192kHz
- Formát Wav podporuje bitové hloubky od 8-32 bitů s libovolným počtem kanálů
- Pro Formát Wav se datový tok vypočítává vzorcem: datový tok = vzorkovací frekvence * počet kanálů * bitová hloubka. Datový tok bývá konstantní.

[20] [21]

2.3.4 Kodek AAC

Kodek AAC (Advanced Audio Coding) je běžně používaný ztrátový formát pro kompresi digitálního zvuku, který byl navržen jako kvalitnější kodek oproti MP3. Jeden z nejvíce běžných režimů AAC je HE-AAC (High-Efficiency Advanced Audio Coding), který používá frekvenční a časové predikce k efektivnější kompresi zvuku.

Hlavní parametry AAC kodeku jsou:

- AAC podporuje vzorkovací frekvence od 8-96kHz
- AAC podporuje bitovou hloubku 16bitů, nebo 24 pro vyšší kvalitu
- AAC podporuje až 48 audio kanálů
- AAC podporuje datový tok až 320 kbit/s s konstantním i proměnlivým datovým tokem

[22]

2.3.5 Kodek FLAC

Kodek FLAC (Free Lossless Audio Codec) je bezztrátový, komprimovaný audio formát podobný MP3. FLAC je svou funkcí velmi podobný, tomu jak funguje ZIP, a je uzpůsoben pro audio, díky čemuž má daleko lepší kompresi. FLAC je považován za jeden z nejrychlejších a nejvíce rozšířených bezztrátových audio kodeků. Kodek FLAC je open source, dobře zdokumentován a má podobně jako Wav velké množství API pro převádění na jiné kodeky jako např. MP3, OGG, atd...

Hlavní parametry FLAC kodeku jsou:

- FLAC podporuje vzorkovací frekvence do 192 kHz
- FLAC podporuje bitovou hloubku 8-24 bitů
- FLAC podporuje proměnlivý datový tok od 800-1400kbit/s

[23][24]

II PRAKTICKÁ ČÁST

3 NÁVRH A REALIZACE MP3 PŘEHRÁVAČE

Tato kapitola se popisuje praktickou realizaci navrženého MP3 přehrávače na bázi mikropočítačové desky Raspberry Pi Pico. Cílem návrhu byl výběr vhodných součástek, navrhnout schéma a desku plošných spojů (DPS) v programu Eagle a navrhnout funkční zařízení schopné přehrávání hudebních souborů ve formátu MP3 s možností základního ovládání, zobrazení informací o přehrávané skladbě a přehrávání playlistů. Později byl do návrhu přidán i obvod sekundárního napájení. Realizace se skládá z několika hlavních částí – sestavení prototypu na nepájivém poli, osazení součástek na desku plošných spojů a následného vývoje softwaru.

Následující podkapitoly detailně popisují jednotlivé části návrhu a realizace.

3.1 Seznam použitých součástek

Výběr součástek pro MP3 modul proběhl při konzultaci s vedoucím práce, který doporučil již vyzkoušené a ověřené součástky, vhodné pro realizaci tohoto MP3 modulu.

Tabulka součástek:

- Raspberry Pi Pico
- LCD I2C 1602 Displej
- MP3 dekodér VS1053 se slotem na SD kartu a výstupním audio jackem 3,5mm
- Napěťový převodník úrovní z 5V na 3V
- 6x tlačítko pro ovládání MP3 modulu
- 1x Elektrolytický kondenzátor 220μF
- 2x Elektrolytický kondenzátor 100μF
- 2x Kondenzátor 100μF
- 2x Schottkyho dioda 1N5819-B
- Regulátor napětí z 12V na 5V 7805
- Jack pro připojení napájení
- Pasivní chladič pro regulátor napětí

3.2 Hardwarový návrh MP3 modulu

Základem hardwarového návrhu MP3 modulu je mikropočítač Raspberry Pi Pico. Hlavní funkcí RPI je řízení přehrávání, komunikace s dekodérem MP3, čtení dat ze souborového systému na SD kartě a práce s tlačítky a displejem.

Hardwarový návrh je řešený jako modulární – RPI komunikuje s VS1053 pomocí SPI sběrnice. Dále RPI pomocí I2C sběrnice komunikuje přes napěťový převodník s displejem. Hudební a systémové soubory jsou uloženy na SD kartě, která je součástí VS1053 dekodéru. Zvukový výstup je veden z VS1053 přes sluchátkový jack, který je jeho součástí. Součástí hardwarového návrhu je také návrh sekundárního napájení na desce pomocí napájecího jacku na 12V a obvodu pro následnou regulaci napětí na 5V pro práci s ostatními součástkami.

3.3 Hardwarová část

Tato kapitola se zabývá praktickou realizací hardwarové části MP3 přehrávače. Na základě hardwarového návrhu byly nejprve zakoupeny vybrané součástky a poté zapojeny na nepájivé pole a propojeny mezi sebou, čímž jsem ověřil jejich funkčnost a správný provoz. Provoz a funkčnost součástek byla testována prototypovým kódem, který pouze inicioval VS1053 a SD kartu a přehrával MP3 soubory v rootovém adresáři. Po ověření funkčnosti zapojení bylo pro zjednodušení ovládání přidáno do budoucna tlačítko pro vstup a výstup z menu (původně se počítalo v návrhu pouze s 5 tlačítky), aby bylo možné do budoucna snadněji pracovat s playlisty a oddělit ovládání přehrávání od pohybu v adresářové struktuře. Následně bylo vytvořeno schéma a návrh desky plošných spojů v programu Eagle. V této fázi byl také přidán návrh obvodu pro sekundárního napájení, jako vhodná alternativa k napájení z mikropočítače Raspberry Pi Pico. Jako finální část hardwarové realizace bylo osazení součástek na hotovou desku plošných spojů. Jednotlivými částmi celé realizace i návrhu se zabývám v následujících podkapitolách.

3.3.1 Návrh ovládání MP3 modulu

Ovládání MP3 přehrávače je řešeno, přes fyzické tlačítka připojené k GPIO pinům na Raspberry Pi Pico. Původní návrh byl řešen s pěti tlačítky, které obsluhovaly přehrávání, tzn. tlačítko pro přehrátí/pauzu, dvě tlačítka pro další a předchozí skladbu a dvě tlačítka pro nastavení hlasitosti. Po otestování základní funkčnosti s prototypovým kódem bylo přidáno šesté tlačítko pro vstup a výstup z adresářové struktury a bylo nazváno jako menu tlačítko. Tím se zjednodušilo ovládání a nebylo nutné implementovat vstup do menu alternativní metodou jako např. pomocí kombinací tlačítek či dvojkliků.

3.3.2 Prototyp zapojení součástek na nepájivém poli

Prototyp zapojení součástek na nepájivém poli byl první krok v hardwarovém návrhu MP3 přehrávače. Nejprve bylo provedeno základní zapojení mikropočítače Raspberry Pi Pico, dekodéru VS1053 a displeje s převodníkem napět'ových úrovní. Komunikace mezi jednotlivými součástkami byla realizována podle návrhu. Dekodér VS1053 byl připojen na defaultní SPI piny Raspberry Pi Pico (piny GPIO16-19).

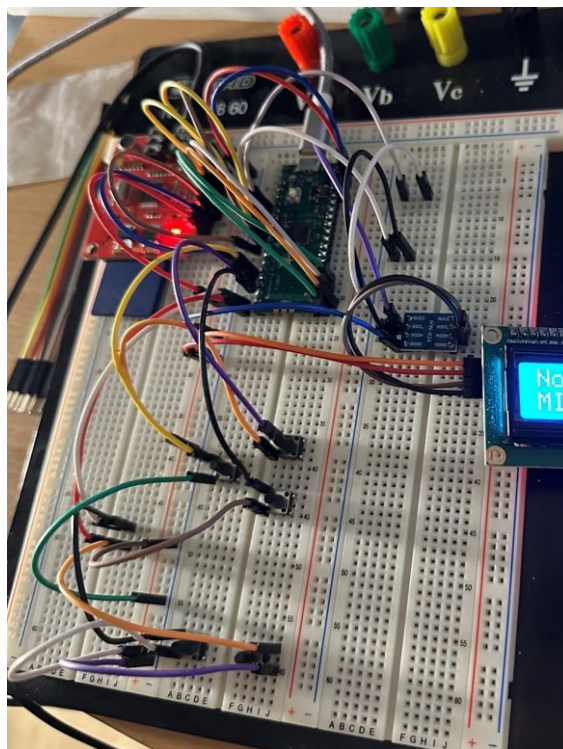
Zde je rozpis připojených SPI pinů:

- GPIO16 na RPI byl připojen k MISO
- GPIO17 na RPI byl připojen k CS
- GPIO18 na RPI byl připojen k CLK
- GPIO19 na RPI byl připojen k MOSI

Další piny byly z VS1053 vedeny na Raspberry Pi Pico na piny GPIO6-9 kvůli praktičnosti, protože na nepájivém poli byly hned vedle sebe.

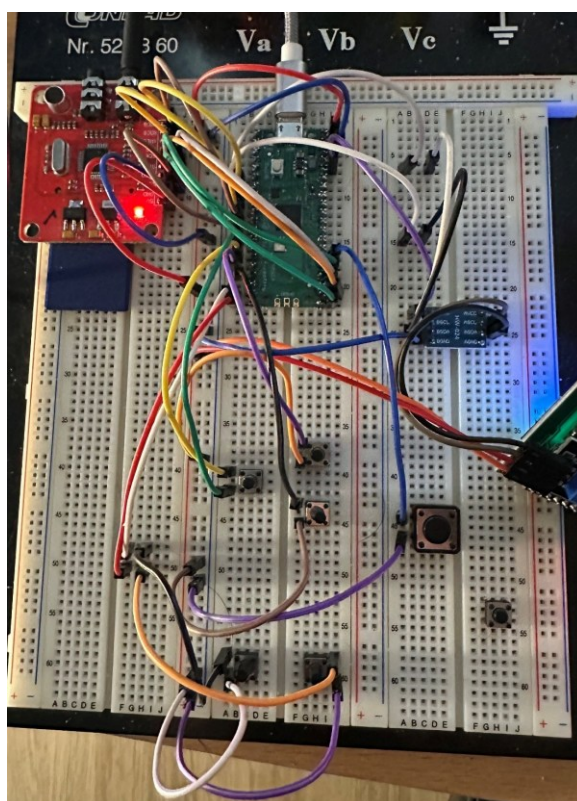
Pro displej byly využity defaultní I2C piny Raspberry Pi Pico, v tomto případě piny GPIO4 a GPIO5. Ty byly zapojeny přes převodník na displej. Pin GPIO4 byl připojen k SDA a GPIO5 k SCL. Protože ze strany Raspberry Pi Pico je nevhodné obsluhovat sběrnici plným napětím 5V, byl pro sběrnici I2C přidán převodník napět'ových úrovní. Na straně Raspberry Pi Pico se pro komunikaci na I2C využívají 3V a na straně displeje se převádí na 5V.

V této fázi byly poprvé otestovány funkce jednotlivých modulů. Modul MP3 neúspěšně naběhl s chybou modulu VS1053, protože byly v oficiální dokumentaci VS1053 prohozeny piny XCS a XDCS. Po prohození těchto pinů modul MP3 úspěšně naběhl. Nakonec byly na vhodné GPIO piny připojeny tlačítka, s využitím interních pull-up rezistorů.



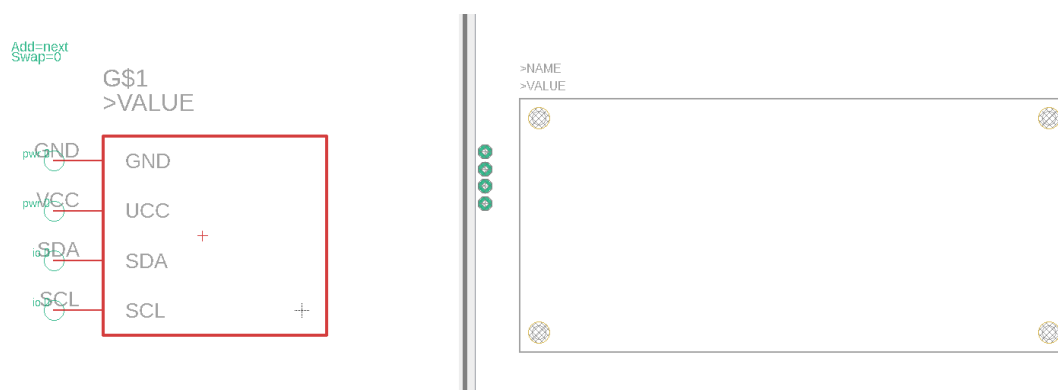
Obrázek 3 Prototyp zapojení na nepřívěsném poli bez menu tlačítka

(zdroj: vlastní)



Obrázek 4 Prototyp zapojení na nepřívěsném poli s prototypem menu tlačítka

(zdroj: vlastní)



Obrázek 7 Knihovna displeje
(nalevo schéma v obvodu, napravo schéma v rozvržení desky plošných spojů)

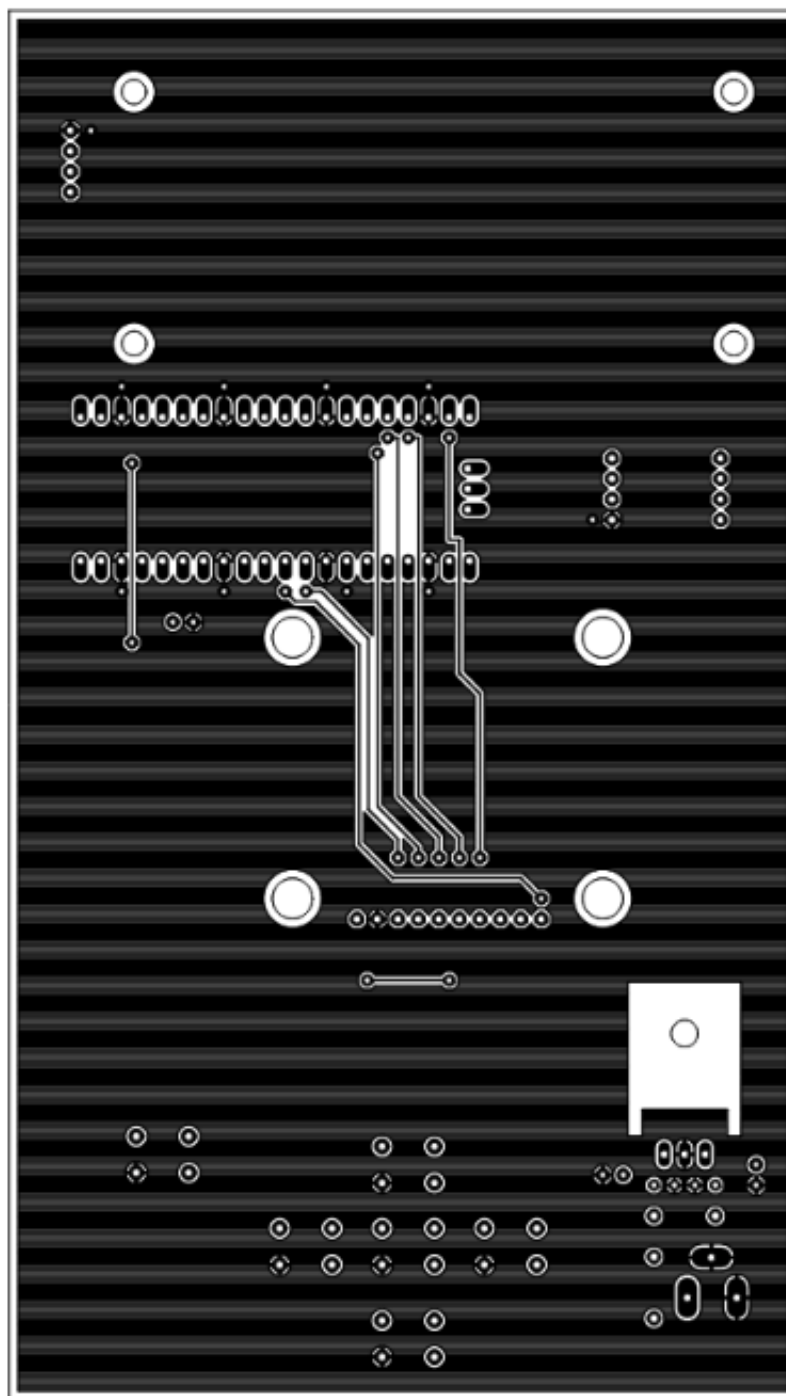
(zdroj: vlastní)



Obrázek 8 Knihovna převodníku napětí
(nalevo schéma v obvodu, napravo schéma v rozvržení desky plošných spojů)

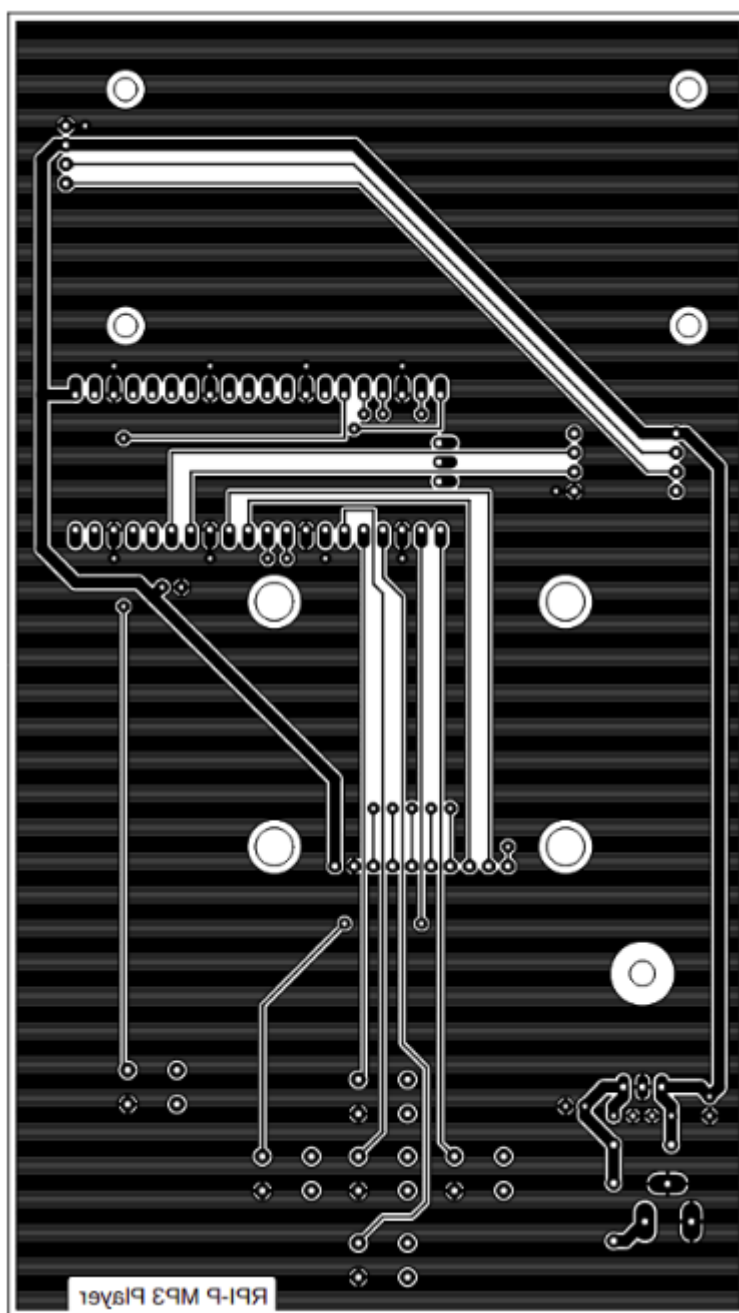
(zdroj: vlastní)

Na oficiálním webu pro Raspberry Pi součástky byla stažena oficiální knihovna pro Raspberry Pi Pico, která je použita ve schématu a v rozvržení desky plošných spojů. Dále bylo potřeba vytvořit knihovny pro samotný displej, převodník napěťových úrovní a VS1053. Knihovny byly vytvořeny poměrně snadno po vyměření všech rozměrů jednotlivých součástek v programu Eagle. Pro displej však musely být dírký pro piny lehce posunuty kvůli přídavnému modulu displeje, ze kterého lehce přesahovaly nožičky do strany. Po vytvoření knihoven součástek vzniklo první schéma obvodu s propojenými součástkami. Po konzultaci s vedoucím byl také přidán obvod pro sekundární napájení.



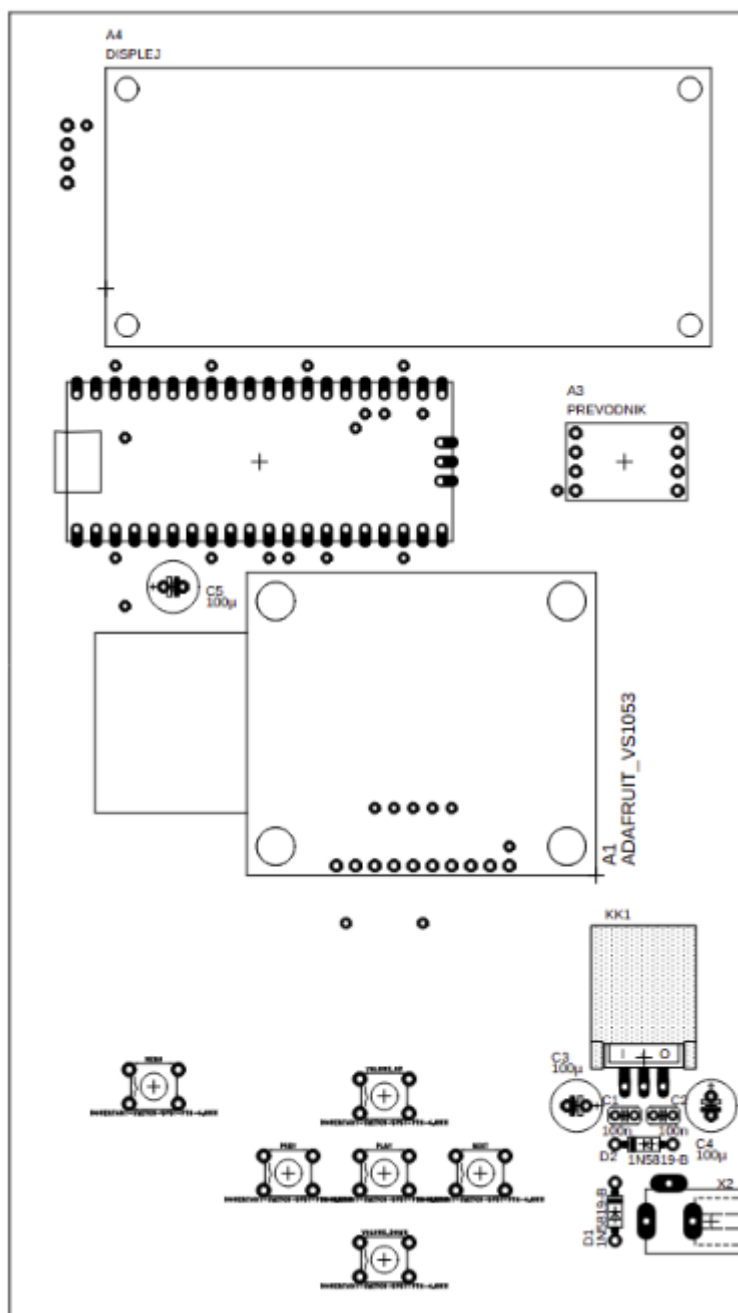
Obrázek 10 Motiv desky plošných spojů horní strany

(zdroj: vlastní)



Obrázek 11 Motiv desky plošných spojů spodní strany

(zdroj: vlastní)



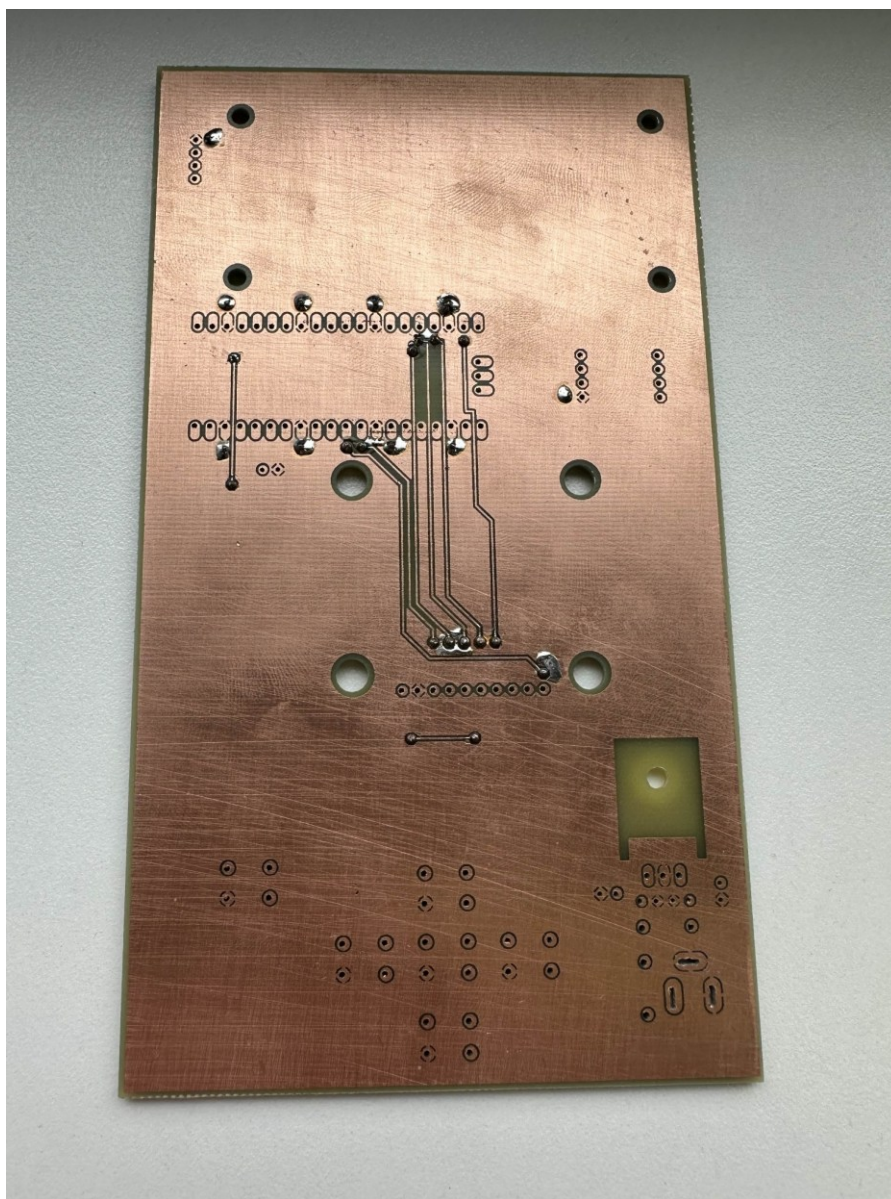
Obrázek 12 Osazovací plán desky

(zdroj: vlastní)

Nakonec se ještě otestovaly rozměry jednotlivých součástek výtiskem rozložení desky plošných spojů na papír v měřítku 1:1 a přikládáním součástek na jejich místa. Deska plošných spojů byla po této kontrole odeslána k výrobě výrobcí plosnaky.cz.

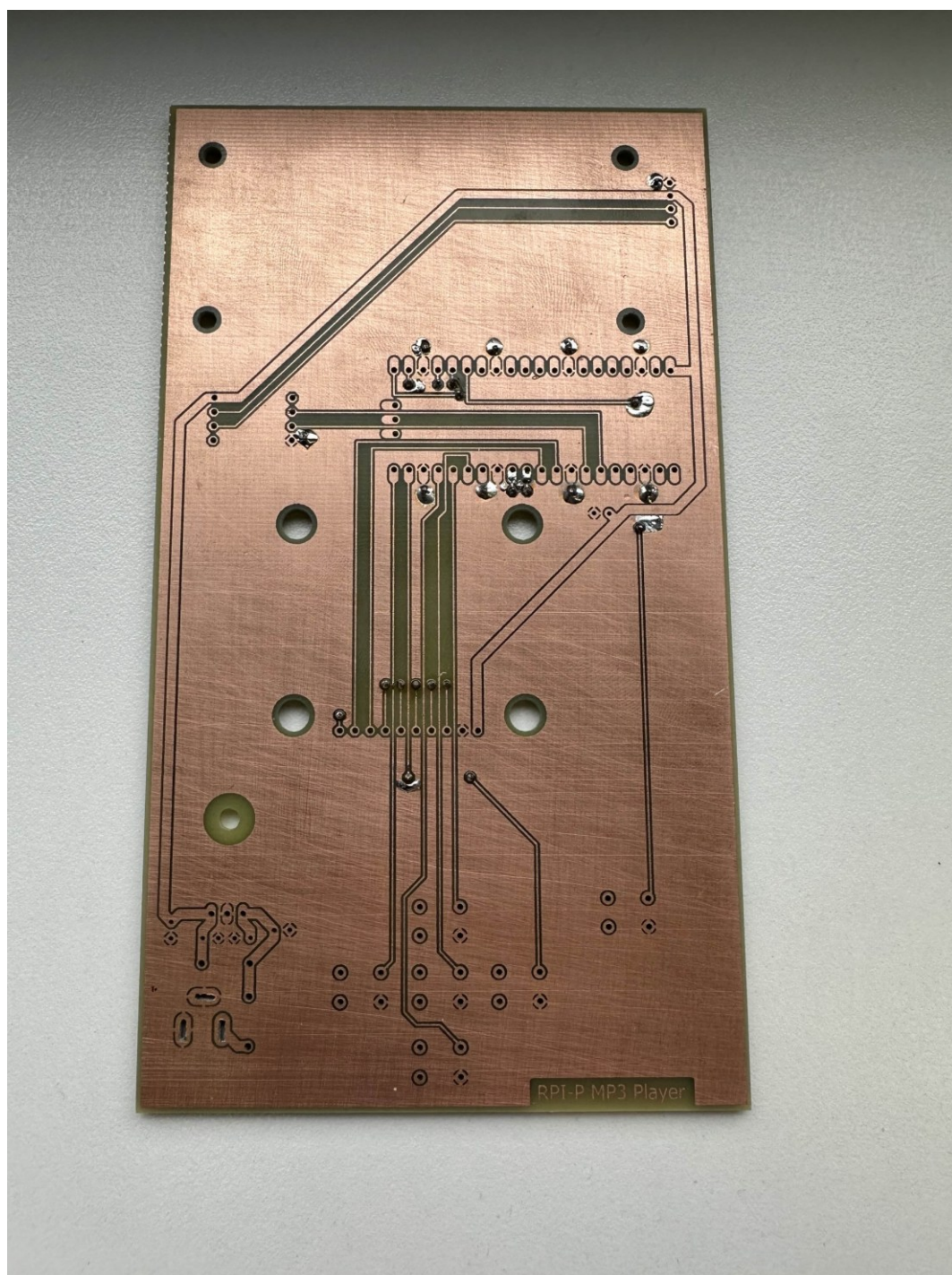
3.3.4 Osazení a pájení desky plošných spojů

Osazování a pájení desky plošných spojů proběhlo bez větších problémů. Všechny součástky díky předešlému testování odpovídaly svým rozměrům. Mezi problémy které bylo potřeba vyřešit byly mikrotrhliny na 3 spojích na spodní vrstvě desky plošných spojů. Jeden z nich byl opraven natavením malého množství cínu přímo na přerušenou cestičku a u dvou spojů bylo potřeba mikrotrhliny přemostit ustřiženými nožičkami použitých součástek. Další problém který bylo potřeba vyřešit bylo zapájení prokovů, které výrobce nenabízel. Tento problém byl vyřešen prostrčením ustřižené nožičky a zapájením z obou stran, aby vznikl umělý prokov. Zde je můj postup při osazování a pájení desky plošných spojů:



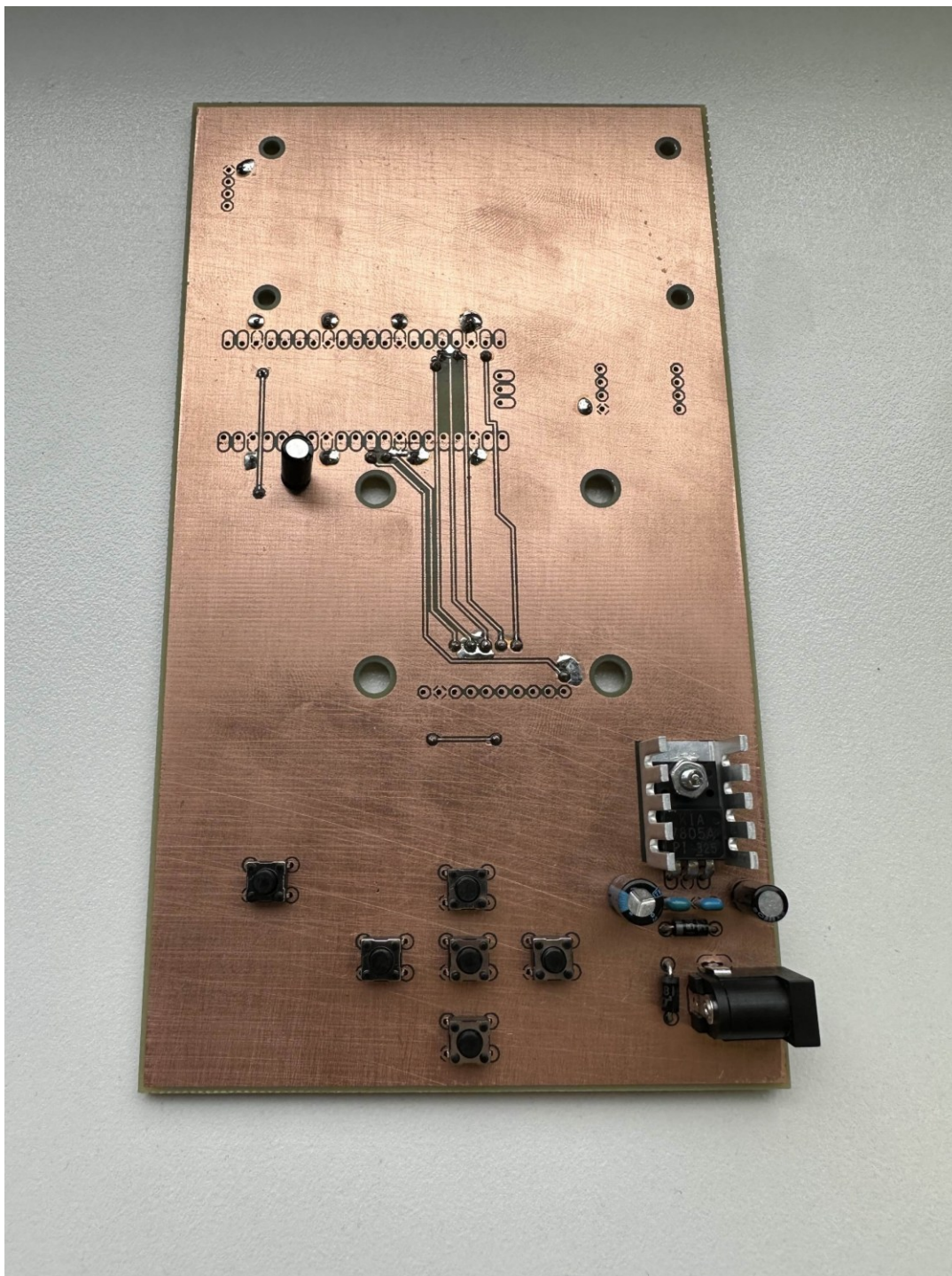
Obrázek 13 Zapájené prokovy desky plošných spojů (horní vrstva)

(zdroj: vlastní)



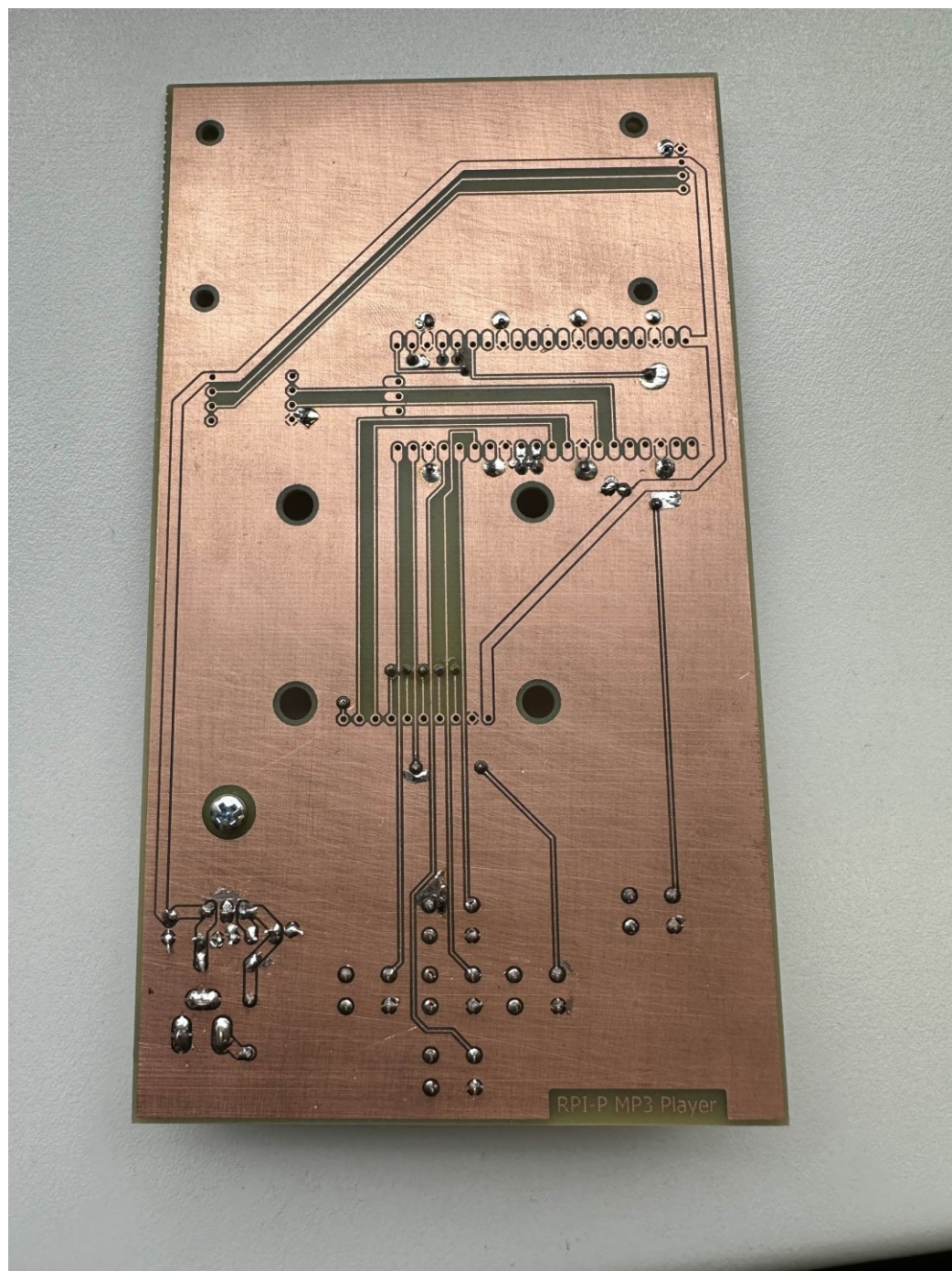
Obrázek 14 Zapájené prokovy desky plošných spojů (spodní vrstva)

(zdroj: vlastní)



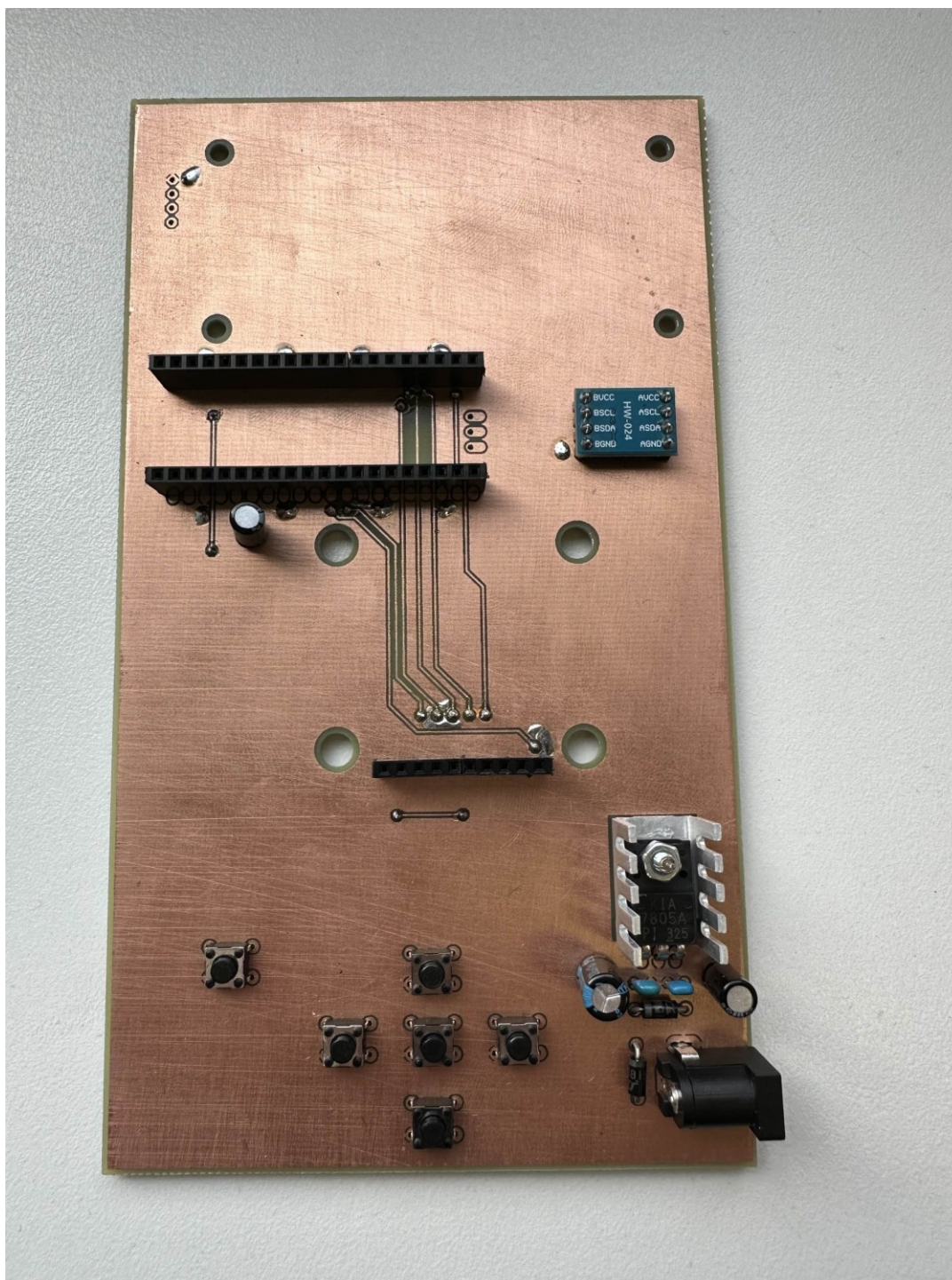
Obrázek 15 Zapájené tlačítka, kondenzátory a diody, s napájecím jackem, pasivním chladičem a regulátorem napětí (horní vrstva)

(zdroj: vlastní)



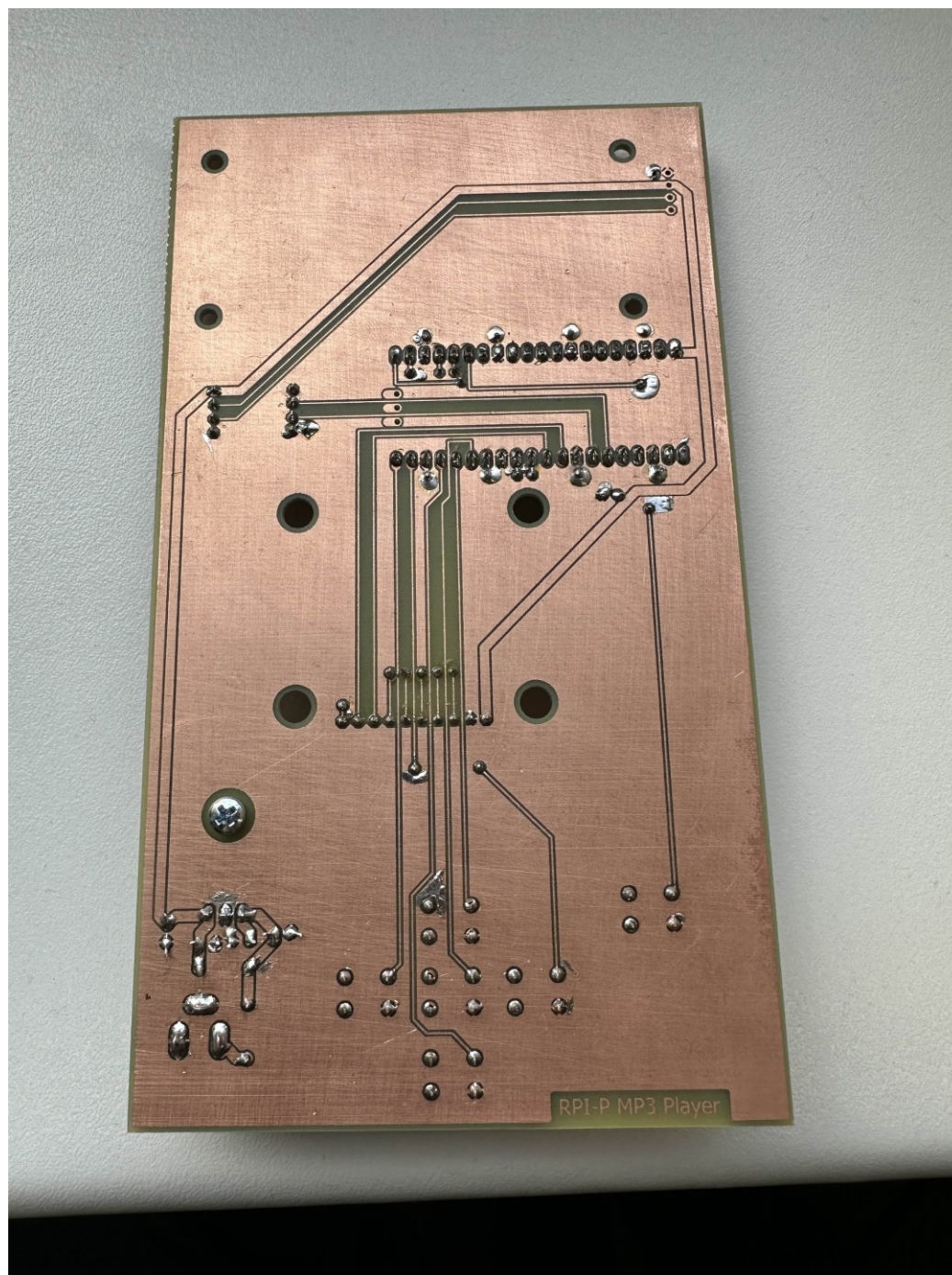
Obrázek 16 Zapájené tlačítka, kondenzátory a diody, s napájecím jackem, pasivním chladičem a regulátorem napětí (spodní vrstva)

(zdroj: vlastní)



Obrázek 17 Zapájené lišty pro osazení součástek Raspberry Pi Pico a VS1053 (horní vrstva)

(zdroj: vlastní)



Obrázek 18 Zapájené lišty pro osazení součástek Raspberry Pi Pico a VS1053 (spodní vrstva)

(zdroj: vlastní)

3.3.5 Převody Napět'ových úrovní

V celém obvodu bylo potřeba vyřešit dvě instance převodů napět'ových úrovní. První instance se nachází u připojení displeje k Raspberry Pi Pico. Zde bylo nutné přidat převodník napět'ových úrovní, protože ze strany Raspberry Pi Pico pracuje I2C s napětím 3V. Pokud bychom vedli plných 5V na I2C z displeje na Raspberry Pi Pico, mohlo by dojít k poškození RPI příliš vysokým napětím. Proto signál I2C vedoucí z displeje převádíme z 5V na 3V.

Druhá instance převodu napět'ových úrovní je u obvodu pro napájení. Tady pracujeme s napět'ovou úrovní 12V která přichází do napájecího jacku. Těchto 12V je nutno přes regulátor napětí převést na napájecí napětí Raspberry Pi Pico 5V. Aby nedocházelo k problémům v regulaci a převodu, jsou v tomto obvodu připojeny kondenzátory a diody, které filtrují signál a zajišťují správnou funkci regulátoru.

3.4 Softwarová část

Softwarová část je klíčovou součástí celého návrhu MP3 přehrávače. Softwarová část zajišťuje přehrávání hudby přes dekodér VS1053, zobrazování informací na displeji, až po obsluhu tlačítek pro ovládání přehrávače. Cílem softwarového návrhu bylo vytvořit stabilní prostředí, které umožní uživateli přehrávat soubory, pohybovat se v adresářové struktuře a zobrazovat informace na displeji. Vývoj probíhal postupně od prvních prototypů kódu, až po komplexní kód s podporou playlistů a přehledným rozhraním na displeji.

V následujících podkapitolách jsou popsány použité vývojové prostředí, knihovny a implementace jednotlivých funkcí.

3.4.1 Výběr vývojového prostředí

Pro vývoj softwaru pro svůj MP3 modul jsem si vybral Arduino IDE. Arduino IDE jsem vybral, protože podporuje jazyk C, a s tímto vývojovým prostředím mám minulé zkušenosti.

Arduino IDE nabízí širokou škálu desek mikropočítačů mezi něž patří také Raspberry Pi Pico. Vývoj probíhal iterativně, tzn. od základního testování jednotlivých modulů až po postupnou integraci důležitých funkcí přehrávače MP3.

3.4.2 Použité knihovny

Pro správnou funkci MP3 přehrávače bylo nutné využít některých externích knihoven. Tyto knihovny zajišťují přehrávání souborů, práci se souborovým systémem, I2C komunikaci, řízení displeje a SPI komunikaci.

Použité knihovny:

- Adafruit_VS1053.h – Knihovna od Adafruit, umožňuje přehrávání mp3 souborů
- SD.h – Standardní Arduino knihovna pro práci se souborovým systémem na SD kartě
- Wire.h – Základní knihovna pro I2C komunikaci
- SPI.h – Základní knihovna pro SPI komunikaci
- LiquidCrystal_I2C.h – Knihovna pro řízení displeje s I2C převodníkem

3.4.3 Funkce MP3 Přehrávače (Playlisty, Loop, Čtení MP3 tagů)

Na základě návrhu hardwaru a použitých knihoven bylo vytvořeno pro modul MP3 přehrávače softwarové řešení, které umožňuje přehrávači vykonávat jeho klíčové funkce. Tyto funkce jsou např. uspořádání souborů do playlistů, nebo čtení MP3 ID3 tagů pro získání autora skladby a výpočtu délky skladby přes bitrate v hlavičce.

Níže je uveden seznam klíčových funkcí a jejich stručný popis:

- setup() - Inicializuje sériovou komunikaci, SPI, LCD, VS1053 čip a SD kartu. Nastaví výchozí hlasitost, načte obsah kořenového adresáře a zobrazí menu na LCD.
- loop() - Hlavní smyčka programu. Podle režimu (menuMode) buď zpracovává menu (handleMenuButtons) nebo přehrávání hudby (handleButtons). Aktualizuje informace na displeji a feeduje buffer přehrávání.

Ovládání tlačítek

- handleMenuButtons() - Zpracovává tlačítka v režimu menu: výběr položky (nahoru/dolů), vstup do složky/souboru (další), návrat (předchozí), přehrávání složky/souboru (play) a přepnutí režimu (menu).
- handleButtons() - Zpracovává tlačítka v režimu přehrávání: play/pauza, změna hlasitosti, předchozí/další skladba, přepnutí do menu. Aktualizuje zobrazení (např. hlasitost nebo ikony).

Správa souborů a adresářů

- `loadDirectoryContents(const char *path)` - Načte obsah adresáře z SD karty, filtruje soubory (MP3, OGG, WAV) a adresáře, ukládá je do pole `menuItems` a `audioFiles`. Ignoruje skryté soubory.
- `enterSelectedItem()` - Otevře vybranou položku z menu: pokud je to adresář, načte jeho obsah; pokud je to soubor, přehraje ho a přepne do režimu přehrávání.
- `playCurrentFolder()` - Přehraje první audio soubor ve vybraném adresáři a přepne do režimu přehrávání. Pokud adresář neobsahuje hudební soubory, zobrazí chybu.
- `exitCurrentFolder()` - Vráť se o úroveň výše v adresářové struktuře (např. z `/music/` do `/`). Načte obsah nového adresáře a aktualizuje menu.

Přehrávání a metada

- `playFile(File file)` – Spustí přehrávání zadaného souboru. Zastaví aktuální přehrávání, udělá soft reset VS1053 (pro OGG soubory), načte metadata (interpret u MP3) a aktualizuje zobrazení.
- `get_mp3_metadata(File &file)` – Extrahuje metadata z MP3 souboru (bitrate a interpreta) čtením ID3 tagů. Vrací strukturu `MP3Metadata` s těmito informacemi.
- `get_bitrate_from_ogg(File &file)` - Vypočítá bitrate OGG souboru analýzou hlavičky a celkové délky souboru podle vzorkovací frekvence a počtu vzorků.
- `get_bitrate_from_wav(File &file)` - Získá bitrate WAV souboru z hlavičky (formát, počet kanálů, vzorkovací frekvence, bitová hloubka). Podporuje pouze nekomprimované WAV.
- `calculateTrackDuration(File file)` - Vypočítá délku skladby (v milisekundách) podle velikosti souboru a bitrate (získaného z metadata).
- `getDecodedTime()` – Vráť aktuální čas přehrávání (v milisekundách) čtením registru VS1053

Zobrazení na LCD

- `displayMenu()` - Zobrazí aktuální menu na LCD (max. 2 položky na stránku). Zvýrazní vybranou položku a označí adresáře lomítkem.
- `displayTrackInfo(const char *filename)` - Zobrazí informace o přehrávané skladbě: název souboru (s posouváním textu), interpreta (s posouváním), čas přehrávání a celkovou délku skladby. Zobrazuje ikonu play/pauza.
- `showTemporaryMessage(const char* message)` - Zobrazí dočasnou zprávu na LCD (např. "Playing", "VOLUME+") po dobu 2 sekund.

Ovládání přehrávání

- `prevTrack()` - Přehraje předchozí skladbu v seznamu `audioFiles`. Pokud je seznam prázdný, zobrazí chybu.
- `nextTrack()` - Přehraje další skladbu v seznamu `audioFiles`. Pokud je seznam prázdný, zobrazí chybu.
- `volumeUp()` - Zvýší hlasitost (snižuje hodnotu `volume`, protože VS1053 má inverzní logiku hlasitosti).
- `volumeDown()` - Sníží hlasitost (zvyšuje hodnotu `volume`).
- `stopTrack()` - Zastaví přehrávání aktuální skladby a nastaví `isPlaying` na `false`.

Pomocné funkce

- `switchMode(bool newMode)` - Přepíná mezi režimem menu a přehrávání. Resetuje stavy tlačítek a aktualizuje zobrazení.
- `volumeToPercent(int volume)` - Převádí interní hodnotu hlasitosti (0-80) na procenta (0-100%) pro zobrazení.
- `isMP3File(const char *filename)` - Kontroluje, zda má soubor příponu `.mp3` (nerozlišují velikost písmen).
- `isOGGFile(const char *filename)` – Kontroluje, zda má soubor příponu `.ogg`
- `isWAVFile(const char *filename)` – Kontroluje, zda má soubor příponu `.wav`

ZÁVĚR

Při návrhu a realizace byly využity běžně dostupné součástky, což umožňuje případnou snadnou replikaci projektu. Testování prokázalo stabilní a spolehlivou funkčnost zařízení. Tento projekt demonstruje možnosti využití Raspberry Pi Pico v oblasti zpracování zvuku a může sloužit jako základ pro další rozšíření, například bezdrátového ovládání nebo podpory dalších audio formátů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Seznam použité literatury musí být vždy vypracován podle použité citační normy v rámci závěrečné práce. Následující ukázky seznamu použité literatury vychází z citační normy ČSN ISO 690:2022, kde se řazení seznamu řídí zvolenou metodou odkazování.

Příklad č. 1 – metoda číselného odkazu, řazení dle výskytu v textu

- [1] JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka :. 2. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2.
- [2] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Praha: BEN - technická literatura, 2003. μ C & praxe. ISBN 80-7300-077-6.
- [3] Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi Pico Datasheet: An RP2040-based microcontroller board. [online]. 2024 [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/>.
- [4] Raspberry Pi Ltd. Getting started with Raspberry Pi Pico-series: C/C++ development with Raspberry Pi Pico-series and other Raspberry Pi microcontroller-based boards. [online]. 2024 [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/>.
- [5] VLSI Solution. VS1053b Datasheet: VS1053b - Ogg Vorbis/MP3/AAC/WMA/FLAC/MIDI Audio Codec Circuit, Rev. 1.32. [online]. 2024 [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.vlsi.fi>.
- [6] HUSÁR, Jakub. Výukový modul pro předmět Programování mikropočítačů: MP3 přehrávač. [online]. Zlín, 2015 [cit. 2025-04-27]. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Dostupné z: <https://digilib.k.utb.cz/handle/10563/34215>.
- [7] Katedra fyziky povrchů a plazmatu MFF UK. Mikropočítače. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap9/mikropo.html>.
- [8] Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR. Mikropočítače. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://edu.gov.cz/ict/roboticke-a-programovatelne-ucebni-pomucky-mikropocitace/>.

- [9] Střední průmyslová škola Lanškroun. Procesory. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://www.spslan.cz/images/PDF1314/rekvalifikace/procesory.pdf>.
- [10] ELUC. Obvody rozhraní SPI. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/obvody-rozhrani-spi>.
- [11] DH servis. I2C – o co jde a jak pracuje. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <http://www.dhservis.cz/iic.htm>.
- [12] VOXCAFE. UART: Hardwarový komunikační protokol. [online]. 2022 [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://www.voxcafe.cz/mindblog/clanky/embedded-systemy/uart:-hardwarovy-komunikacni-protokol.html>.
- [13] PELIKÁN, Jaroslav. Von Neumannovo schéma. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/VNEUM.HTML>.
- [14] Autor neuveden. HW: Von Neumannova vs Harvardská architektura. [online]. 2011 [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://mycvut.blogspot.com/2011/06/hw-von-neumannova-vs-harvardska.html>.
- [15] BONSOR, Kevin, Jeff TYSON a Craig FREUDENRICH. How MP3 Players Work. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/mp3-player.htm>.
- [16] Autor neuveden. Co je to MP3? (definice a jak funguje). [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://speechify.com/cs/blog/what-is-mp3/>
- [17] VINKLEROVÁ, Eva. Přenosná zařízení reprodukcí hudbu, jejich vývoj a role v sociálním chování uživatele. [online]. Brno, 2012 [cit. 2025-04-27]. Bakalářská diplomová práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta, Ústav hudební vědy. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/f00xe/Finalversion.pdf>.
- [18] POPP, Harald a Karlheinz BRANDENBURG. An Introduction to MPEG Layer-3 (MP3). [online]. 2000 [cit. 2025-04-27]. EBU Technical Review, č. 283. Dostupné z: https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_283-popp.pdf.
- [19] Xiph.Org Foundation. Vorbis audio compression. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://xiph.org/vorbis/>
- [20] FileFormat.com. WAV – Waveform Audio File Format. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://docs.fileformat.com/audio/wav/>

- [21] GeeksforGeeks. WAV Audio Format. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://www.geeksforgeeks.org/wav-audio-format/>
- [22] HOSALIKAR, Shubham. What is AAC Codec? A Complete Guide. [online]. 2024 [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://www.gumlet.com/learn/aac-codec/>
- [23] Xiph.Org Foundation. FLAC – Free Lossless Audio Codec. [online]. [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://xiph.org/flac/>
- [24] Gumlet. FLAC vs. WAV: The Battle of the Audio File Formats. [online]. 2024 [cit. 2025-04-27]. Dostupné z: <https://www.gumlet.com/learn/flac-vs-wav/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Von Neumannova Architektura.....	14
Obrázek 2 Harvardská architektura.....	14
Obrázek 3 Prototyp zapojení na nepájivém poli bez menu tlačítka.....	31
Obrázek 4 Prototyp zapojení na nepájivém poli s prototypem menu tlačítka	31
Obrázek 5 Knihovna Raspberry Pi Pico (nalevo schéma v obvodu, napravo schéma v rozvržení desky plošných spojů).....	32
Obrázek 6 Knihovna dekodéru VS1053 (nalevo schéma v obvodu, napravo schéma v rozvržení desky plošných spojů).....	32
Obrázek 7 Knihovna displeje (nalevo schéma v obvodu, napravo schéma v rozvržení desky plošných spojů)	33
Obrázek 8 Knihovna převodníku napětí (nalevo schéma v obvodu, napravo schéma v rozvržení desky plošných spojů).....	33
Obrázek 9 Schéma obvodu MP3 přehrávače	34
Obrázek 10 Motiv desky plošných spojů horní strany.....	35
Obrázek 11 Motiv desky plošných spojů spodní strany	36
Obrázek 12 Osazovací plán desky	37
Obrázek 13 Zapájené prokovy desky plošných spojů (horní vrstva).....	38
Obrázek 14 Zapájené prokovy desky plošných spojů (spodní vrstva).....	39
Obrázek 15 Zapájené tlačítka, kondenzátory a diody, s napájecím jackem, pasivním chladičem a regulátorem napětí (horní vrstva)	40
Obrázek 16 Zapájené tlačítka, kondenzátory a diody, s napájecím jackem, pasivním chladičem a regulátorem napětí (spodní vrstva)	41
Obrázek 17 Zapájené lišty pro osazení součástek Raspberry Pi Pico a VS1053 (horní vrstva)	42
Obrázek 18 Zapájené lišty pro osazení součástek Raspberry Pi Pico a VS1053 (spodní vrstva).....	43

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

RPI Raspberry Pi Pico

DPS Deska Plošných Spojů

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Skript pro ovládání Přehrávače MP3

Příloha P II: Eagle soubory

PŘÍLOHA P I: SKRIPT PRO OVLÁDÁNÍ PŘEHRÁVAČE MP3

Zip soubor obsahuje zdrojový kód pro ovládání a funkčnost MP3 Přehrávače. Pro spuštění je nutné nahrát soubor mp3code.ino do Raspberry Pi Pico

PŘÍLOHA P II: EAGLE SOUBORY

Zip soubor obsahuje Eagle soubory jako jsou knihovny, schéma (.sch) a rozpoložení desky plošných spojů (.brd)