

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

## Laserový projektor

Šimon Hrouda

Brno 2024

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

## LASEROVÝ PROJEKTOR

LASER PROJECTOR

AUTOR Šimon Hrouda

ŠKOLA Gymnázium Brno-Řečkovice, p. o.,  
Terezy Novákové 2, 621 00 Brno

KRAJ Jihomoravský

INTERNÍ KONZULTANT Mgr. Kateřina Vídenková

EXTERNÍ KONZULTANT Tomáš Rohlínek

OBOR 10. Elektrotechnika, elektronika  
a telekomunikace

Brno 2024

□

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Laserový projektor* jsem vypracoval/a samostatně pod vedením Tomáše Rohlíka a Mgr. Kateřiny Vídenkové a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Brně dne: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Šimon Hrouda

## Poděkování

Děkuji svému externímu konzultantovi Tomáši Rohlínkovi a své interní konzultantce Mgr. Kateřině Vídenkové za obětavou pomoc, podnětné připomínky a nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytovali.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.

**jihomoravský kraj**



**Anotace**

**Klíčová slova**

**Annotation**

**Keywords**

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>9</b>
Cíle . . . . .	9
<b>teoretická část</b>	<b>11</b>
<b>1 Laser scanning [6]</b>	<b>12</b>
1.1 Hranolové skenery . . . . .	12
1.2 Galvanometrové skenery . . . . .	14
1.2.1 Galvanometr . . . . .	14
1.2.2 Konstrukce galvanometrových skenerů . . . . .	15
1.3 Má volba skeneru . . . . .	15
<b>praktická část</b>	<b>19</b>
<b>2 hardware</b>	<b>20</b>
2.1 Řídící jednotka – Raspberry Pi . . . . .	20
2.2 Galvanometr a zrcátko . . . . .	20
2.3 galvanometer set i got . . . . .	23
2.3.1 bipolární diferenciální analogový signál [14] . . . . .	23
2.3.2 Zahřívání čipů řídicí desky galvanometrů . . . . .	24
2.4 laser . . . . .	24
2.5 LCD displej . . . . .	24

2.6	rotační enkodér . . . . .	24
2.7	HAT . . . . .	24
2.7.1	Zdroj $-15\text{ V}$ . . . . .	25
2.7.2	obvod pro generování analogového signálu . . . . .	25
2.8	Napájení . . . . .	27
2.9	Pouzdro . . . . .	27
2.9.1	Priority designu . . . . .	28
2.9.2	Konstrukce . . . . .	28
2.10	cooler . . . . .	29
2.11	napájení . . . . .	29
<b>3</b>	<b>software</b>	<b>30</b>
3.1	komunikace mezi programy . . . . .	30
3.2	Lasershow . . . . .	32
3.2.1	Úvod . . . . .	32
3.2.2	Využité knihovny . . . . .	32
3.2.3	Chování programu . . . . .	32
3.3	wifi_manager . . . . .	36
3.4	UI . . . . .	36
3.5	web_ui . . . . .	37
3.6	discord bot . . . . .	39
3.7	install.sh . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Diskuze</b>	<b>40</b>
4.1	ruzne technologie . . . . .	40
4.2	další zpracování tématu . . . . .	41
<b>Závěr</b>		<b>43</b>
	Literatura . . . . .	46
	Seznam obrázků . . . . .	47
	Seznam tabulek . . . . .	48

## definice pojmů a zkratek

SPI    Serial Peripheral Interface    sériové periferní rozhraní

DPS	deska plošných spojů
-----	----------------------

Note!

[TODO 3. osoba - Práce se zaměřuje,, <https://www.sciencedirect.com/search?qs=g>  
muzu rict, ze jsem neco nezvladl dohledat :)]



# Úvod

Note!

[?když jsem se zajímal o technologii laserových projektoru a efektu na diskotekách, zarazilo mě, že jsem nenašel žádnou open source platformu, kterou bych mohl použít a případně upravovat, kdybych chtěl technologii využít, tak jsem se rozhodl takovou platformu vytvořit]

Laser scanning, technologie rychle se pohybujícího laserového paprsku, je využívána v mnoha oblastech od laserového promítání, efektů na diskotékách a Heads Up Displejů v letadlech či autech [1] přes čtení čárových kódů [2] a 3d tisk [3] po skenování 3D modelů [4] i Zemského povrchu [5].

Bohužel ale neexistují žádné uživatelsky přívětivé open-source platformy, kde by se s touto technologií mohli seznámit zájemci o její rozvíjení.

## Cíle

V této práci jsem se proto rozhodl pro tuto technologii vytvořit vlastní laserový projektor a naprogramovat pro něj jednoduché uživatelské prostředí. Toto uživatelské prostředí by mělo sloužit jako začáteční bod, který zaujme mladé zájemce a umožní jim si technologii vyzkoušet. V případě, že technologie zaujme, mělo by pro zájemce být jednoduché program pozměnit nebo si jinak . [QUESTION INTERNAL: jak sepsat cíle? tenhle odstavec tam hezky sedí, ale zvyklejší jsou asi odrazky, ne?]

Note!

## teoretická část

Note!

[wtf nechci, aby to bylo vsechno na nove strance, kdo jsem?]

# Kapitola 1

## Laser scanning [6]

Všechny obrázky v této kapitole pocházejí ze zdroje [6], pokud není uvedeno jinak.

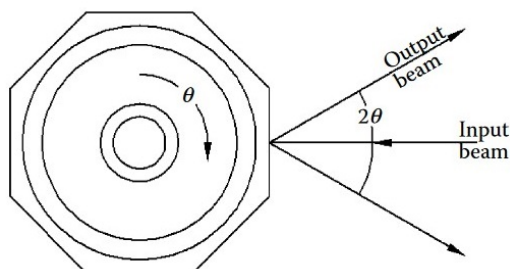
Jako Laser scanning se označuje technologie využívající rychle pohybující laserový paprsek, tento pohyb je často zprostředkovaný pohyblivými zrcátky.

Dle stylu pohybu zrcátek se technologie dají rozdělit na, polygonové skenery, galvanometrové a MEMS skenery.

### 1.1 Hranolové skenery

Hranolové skenery se vyznačují rotujícím hranolem se zrcadlivými stranami (dále „zrcátka“). Při rotaci hranolu se mění úhel dopadu laserového paprsku na zrcátko, a díky tomu se mění směr odraženého paprsku, viz. obrázek 1.1. [adiky carka?]

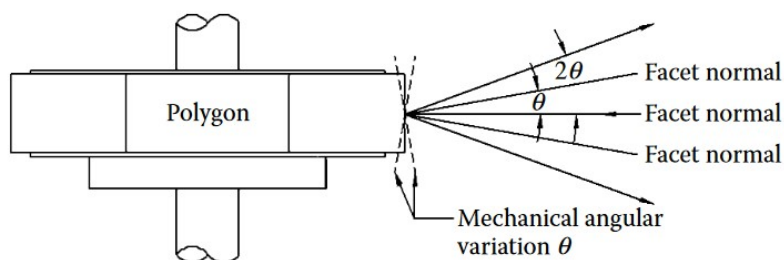
Note!



Obrázek 1.1: mechanika polygonových skenerů

S jedním hranolem by hranolové skenery byly schopny směřovat paprsek pouze v jedné rovině - při projekci by bylo možné vykreslit maximálně čáru. Tuto limitaci lze kompenzovat přidáním malého rozdílu ve směřování každé strany hranolu, viz. obrázek 1.2. S touto úpravou každá strana hranolu "vykreslí" jednu, svoji, přímku lehce posunutou vůči přímkám ostatních stran. Hranol s  $n$ -úhelníkovou podstavou je schopen vykreslit  $n$  přímek. Další možností je kombinovat původní pravidelný hranol s galvanometrem (popsáno níže), kdy galvanometr nastaví jednu souřadnici paprsku a hranol na této souřadnici vykreslí přímku.

Tento typ skeneru se využívá hlavně pro senzory skenující na přímce (např. skenery čárových kódů [2]), nebo při rastrovém procházení plochy (například 3D skenování, nebo promítání ploch, viz. Obrázek ??).



Obrázek 1.2: úhlová rozdílnost zrcátek polygonového skeneru a paprsky od nich odražené



Obrázek 1.3: příklad projekce laserového projektoru s polygonovým skenerem; zdroj [7]

## 1.2 Galvanometrové skenery

V galvanometrových skenerech paprsek odráží zrcátka/o připevněná/o na páru galvanometrů.

### 1.2.1 Galvanometr

Slovem galvanometr se označuje přístroj určený k detekci nebo měření velice malého elektrického proudu [8]. Galvanometry při měření využívají interakce magnetického pole trvalého magnetu a cívky protéké proudem. Tato interakce vychýlí ručičku ukazující na stupnici, nebo zrcátko odrážející paprsek, který dopadá na stupnici. [9]

Galvanometry se dají rozdělit na galvanometry bez zpětné vazby (open-loop) a se zpětnou vazbou. K těm bývají připojeny ovládací obvody, které z galvanometrů získávají informace o jejich pohybu a podle nich regulují signál posílaný do galvanometrů. [9]

Dále se dělí dle pohyblivé součástky. V galvanometru je buď trvalý magnet pevně ukotven a cívka pohyblivá (moving coil), nebo naopak (moving magnet).

Dnes se v kontextu laserových skenerů prakticky vždy používají galvanometry s pohyblivým magnetem a se zpětnou vazbou. Ta je zajištěna čtením z variabilního kondenzátoru umístěného v galvanometru.

### 1.2.2 Konstrukce galvanometrových skenerů

Jeden galvanometrový skener vždy ovládá jednu osu pohybu paprsku, buď X nebo Y.

Narozdíl od hranolových skenerů je s galvanometrovým skenerem možné zastavit obě osy pohybu - vykreslovat na sebe kolmé čáry.

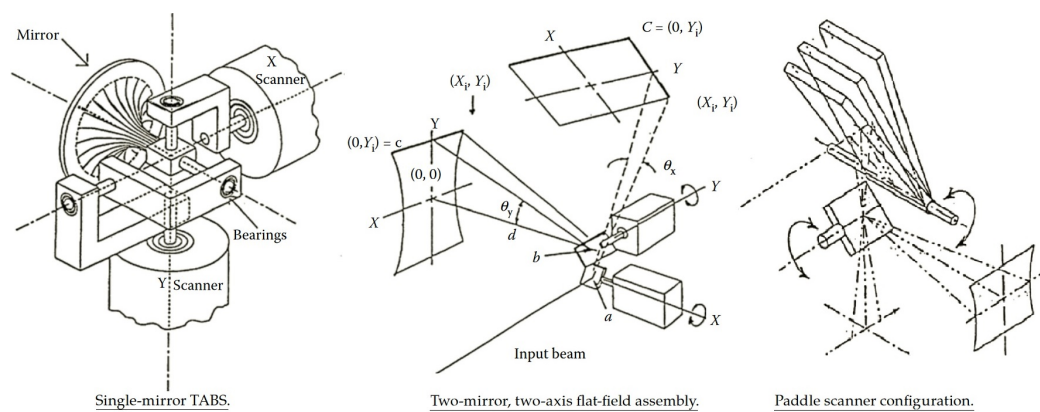
## 1.3 Má volba skeneru

Note!

[sekce možná patří do praktické] já využívám galva, protože se s ním dá nejlíp pohrát, jsou nejuniverzálnější a tím pádem nejvíce zaujmou - cíl







Obrázek 1.5: různé konstrukce galvanometrových skenerů

## praktická část

Note!

[wtf nechci, aby to bylo vsechno na nove strance, kdo jsem?]

# Kapitola 2

## hardware

Tato kapitola se zabývá fyzickou konstrukcí a zapojením vyrobeného laserového projektoru. Ten se skládá z řídicí jednotky, galvanometrů s ovládací elektronikou, laseru, chlazení a napájení. Všechny tyto součástky jsou uloženy v pouzdře vytisknutém na 3D tiskárně.

### 2.1 Řídicí jednotka – Raspberry Pi

Note!

[TODO: rpi specs]

### 2.2 Galvanometr a zrcátko

- Galvanometry, často nazývané galva, jsou elektronické součástky používané k měření intenzity a směru elektrického proudu. [10]

Můžeme je rozdělit mezi galvanometry s uzavřenou smyčkou zpětné vazby (CLGS) a galvanometry bez uzavřené smyčky zpětné vazby (OLGS). [11]

[12] ale postupně nachází uplatnění ve více a více odvětvích práce s lasery. Oproti jiným možnostem nabízí flexibilitu, rychlost a přesnost za nízkou cenu.

V této práci jsou ale využívány CLGS, které jsou lépe zdokumentované.

V CLGS jsou potřeba 3 hlavní prvky,

Nejmodernější galvanometrové polohovací systémy jsou založené na principech elektromotorů s permanentními magnety, kde [12]

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Galvanometer>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_scanning](https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_scanning)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror\\_galvanometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror_galvanometer)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_lighting\\_display](https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_lighting_display)

A mirror galvanometer is an ammeter that indicates it has sensed an electric current by deflecting a light beam with a mirror. The mirror galvanometer consists of a long fine coil of silk-covered copper wire. In the heart of that coil, within a little air-chamber, a small round mirror is hung by a single fibre of floss silk, with four tiny magnets cemented to its back. The small weight of the mirror and magnets which form the moving part of this instrument, and the range to which the minute motions of the mirror can be magnified on the screen by the reflected beam of light, which acts as a long impalpable hand or pointer, render the mirror galvanometer marvellously sensitive to the current, especially when compared with other forms of receiving instruments.

Zrcadlový galvanometr je měřič proudu, který reaguje na měřený proud vychýlením světelného paprsku zrcátkem připevněným na jeho konci.

Skládá se z cívky a [13]

- following text generated by ai (google bard) on 2023-10-20

popiš mi jak je sestaven a jak funguje galvanometr se zrcátkem k odražení světelného paprsku

Galvanometr se zrcátkem je sestaven z následujících komponent:

\* **Cívka:** Cívka je navinuta na jádře z feromagnetického materiálu, jako je železo nebo nikl. Cívkou prochází elektrický proud, který vytváří magnetické pole. \* **Ukazatel:** Ukazatel je připojen k cívce a je vyroben z lehkého materiálu, jako je hliník nebo plast. Ukazatel je vychýlen magnetickým polem vytvářeným cívkou. \* **Zrcátko:** Zrcátko je připojeno k ukazateli a odráží světelný paprsek. \* **Okulár:** Okulár je umístěn tak, aby bylo možné pozorovat odraz světelného paprsku.

**Jak funguje:**

Když prochází cívkou elektrický proud, vytváří magnetické pole. Toto magnetické pole působí na ukazatel a vychýlí ho. Velikost výchylky ukazatele je přímo úměrná velikosti proudu procházejícího cívkou.

Zrcátko je připojeno k ukazateli a odráží světelný paprsek. Když se ukazatel vychýlí, odraz světelného paprsku se také vychýlí.

Okulár je umístěn tak, aby bylo možné pozorovat odraz světelného paprsku. Velikost vychýlení světelného paprsku je přímo úměrná velikosti proudu procházejícího cívkou.

**Výhody:**

\* Galvanometr se zrcátkem je citlivější než galvanometr bez zrcátka. \* Galvanometr se zrcátkem lze použít k měření velmi malých proudů.

**Nevýhody:**

\* Galvanometr se zrcátkem je dražší než galvanometr bez zrcátka.

**Použití:**

Galvanometr se zrcátkem se používá k měření velmi malých proudů. Používá se například v elektrotechnice, lékařství a fyzice.

The mirrors, mounted perpendicularly on the engines, move the laser beam

along the X and Y axes according to the input received from the motor. The big advantage of these devices is that they can reach a very high acceleration and speed of

ovládá se variabilním proudem

## 2.3 galvanometer set i got

Note!

[TODO: specs]

ma ridici desku lol

Řídící deska galvanometrů přijímá dva bipolární diferenciální analogové signály s maximálním diferenciálním napětím  $-5\text{ V}$  až  $+5\text{ V}$ . Každý signál udává vychýlení jednoho ze dvou galvanometrů, což obvykle znamená výslednou pozici laserového paprsku v osách X a Y.

### 2.3.1 bipolární diferenciální analogový signál [14]

Diferenciální signál je signál přenášený dvěma vodiči, každý z nich přenáší stejný signál, jen s opačnou polaritou. Kontakt označený (+) je považován za nosič základního signálu, zatímco kontakt označený (−) je považován za nosič invertovaného signálu. Výsledné diferenciální napětí je napětí na základním nosiči vůči napětí na obráceném nosiči, tzn.  $V_{dif} = V_{(+)} - V_{(-)}$

Bipolární signál znamená, že na napětí každém z kontaktů (+) a (−) může dosahovat kladných i záporných hodnot.

Tudíž cheme-li dosáhnout diferenciálního napětí  $+10\text{ V}$ , musí mít základní signál napětí  $+5\text{ V}$  a obrácený signál  $-5\text{ V}$ . Záporné diferenciální napětí bude ve chvíli, kdy je napětí základního signálu záporné a napětí obráceného signálu kladné.

### 2.3.2 Zahřívání čipů řídicí desky galvanometrů

Dva z čipů na řídicí desce při chodu systému výrazně zahřívají. Na tyto čipy naštěstí už od výroby desky je připevněna malá hliníková destička. Ta má sloužit jako chladič, ale i s ní se čipy v otevřeném prostoru zahřívají na teploty blízké 60 °C. Dva zmíněné čipy jsou čipy TDA2030A od firmy STMicroelectronics. Ty by měly dle datasheetu vydržet až 150 °C, ale dá se předpokládat, že v uzavřeném pouzdru budou čipy dosahovat vyšších teplot, než v otevřeném prostoru. I kdyby nedosáhly pro sebe kritických 150 °C, rozhodně není žádoucí, aby uvnitř projektoru desky dosahovaly vysokých teplot.

I proto byl do projektoru zabudován chladič, Více o způsobu jeho připevnění a distribuci chlazení mezi ostatní komponenty se dočtete v kapitole 2.9.1.

## 2.4 laser

juh

## 2.5 LCD displej

## 2.6 rotační enkodér

## 2.7 HAT

Pro ovládání výše popsaného hardwaru je zapotřebí několik specifických obvodů. Kvůli jejich specifičnosti tyto obvody nejsou volně dostupné k zakoupení na předem vytvořených destičkách. Proto bylo zapotřebí je z jednotlivých součástek vyrobit na míru.

Obvody byly navrženy v programu KiCad...**[bud spojit vety, nebo k první neco jeste dopsat]** Následně pro ně v tomtéž programu byla nadesignována

Note!



deska plošných spojů. Na této desce se vyskytují obvody [**todo dac+amps, bat\_probe, -15V**]. Kromě nich byly na desku přidány konektory k jednotlivým barevným vstupům laseru, LCD displeji a k rotačnímu enkodéru, které jsou přímo napojeny na 40 pinový GPIO konektor Raspberry Pi. Deska byla designována jako tzv. HAT, to znamená, že sama na tomto konektoru drží a nezabírá o moc víc místa, než samotné Raspberry Pi. [**TODO: obrazek desky (maybe mounted)**] Note!

### 2.7.1 Zdroj $-15\text{ V}$

### 2.7.2 obvod pro generování analogového signálu

Jak popsáno v sekci 2.3, řídicí deska galvanometrů přijímá dva bipolární diferenciální analogové signály v rozpětí  $-5\text{ V}$  až  $+5\text{ V}$ .

Obvod, který se stará o vytváření tohoto signálu je založený na obvodu ze zdroje [15]. Vytváření tohoto signálu je rozděleno do dvou částí. Nejdříve DAC (digital-to-analog converter, D/A převodník) připojený k RPi vytvoří signál v rozpětí  $0$  až  $5\text{ V}$  a následně je tento signál pomocí operačního zesilovače převeden na požadované rozpětí, tj.  $-15\text{ V}$  až  $+15\text{ V}$ . Jednotlivé části tohoto obvodu jsou blíže popsány v následujících kapitolách. Celé zapojení je vidět na obrázku 2.1. [**unreadable text, make schem more compact**] Note!

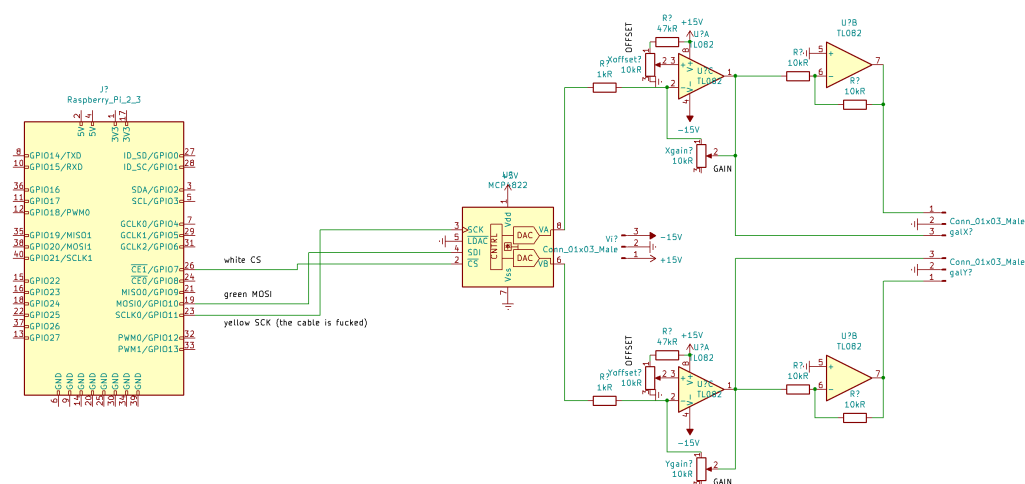
**dac[16]**

K generování signálu v rozpětí  $0$ – $5\text{ V}$  byl využit dvoukanálový D/A převodník<sup>1</sup> MCP4822. Tento čip podporuje komunikaci přes rozhraní SPI, pracuje s napájecím napětím  $5\text{ V}$  a s 12bitovým rozlišením (je schopen vygenerovat 4 096 různých napětí) na dvou kanálech.

RPi komunikuje s čipem pomocí rozhraním SPI. [**TODO more spec**] Tato knihovna poskytuje následující funkce, se kterými pracuji v mém kódu. Note!

---

<sup>1</sup>obvod, který na základě instrukcí přijatých digitálně generuje analogové napětí



Obrázek 2.1: Zapojení DAC a zesilovačů k RPi a řídicí desce galvanometru

- `bool mcp4822_initialize();`
- `bool mcp4822_set_voltage(mcp4822_channel_t channel, uint16_t value_mV);`
- `mcp4822_deinitialize();`

## amps[17]

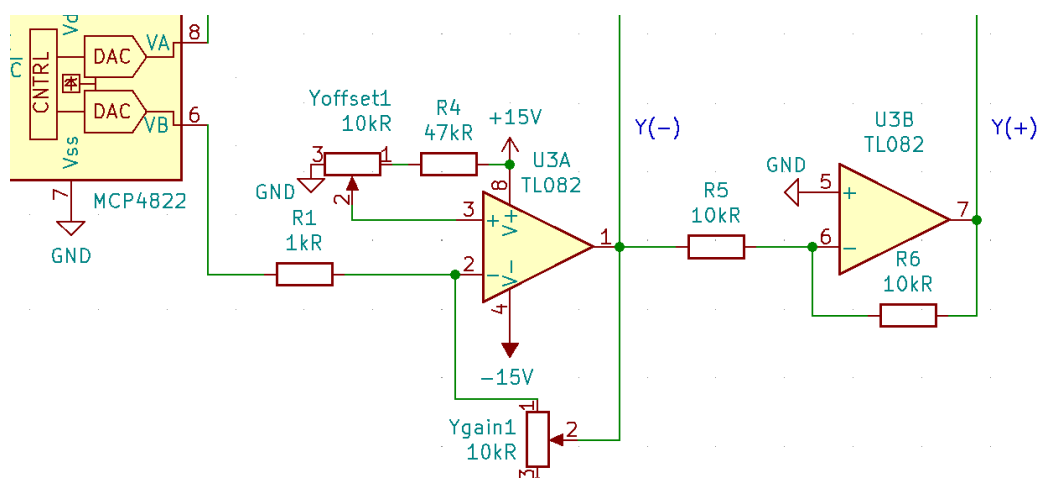
K modifikaci signálu z DAC na bipolární diferenciální analogový signál slouží pro každý kanál jeden čip TL082, který obsahují dva operační zesilovače. Ty jsou zapojeny dle schématu na obrázku 2.2.

Signál první operační zesilovač zesílí a posune dle nastavení potenciometrů Ygain(zesílení) a Yoffset(posun) a zároveň invertuje. Tento invertovaný signál následně druhý operační zesilovač opět invertuje, získav základní signál pro řídicí desku galvanometru.

Note!

[**TODO more spec**] Tyto čipy mi napěťové rozpětí zvýší z 0–5 V na –15 V až +15 V.

zesilovac - ctení baterek <https://is.muni.cz/el/sci/jaro2017/F5090/um/>



Obrázek 2.2: Zapojení čipu TL082 pro jeden kanál řídicí desky galvanometrů

[E17\\_P8.pdf](#)

## 2.8 Napájení

## 2.9 Pouzdro

V rámci popularizace technologie se může hodit projektor předvádět na různých místech. Proto bude potřeba, aby byl projektor přenosný a při přemísťování se nerozbil.

Pouzdro je tedy navrženo tak, aby bylo odolné proti nárazům a zachovalo všechny součásti v bezpečí. Každá součástka má své místo, kde je držena ze všech stran. Pro výrobu pouzdra by bylo vhodné využít technologii 3D tisku. Ta umožňuje tvorbu komplexních geometrických tvarů přímo pro potřeby konkrétního modelu a zároveň umožňuje snadnou iteraci a úpravu designu pouzdra při nalezení chyb.

## 2.9.1 Priority designu

### Chlazení

Největší část projektoru je hliníkový chladič s větrákem. Už od začátku práce byl tento chladič vybrán, aby byl připevněn k řídicí desce galvanometrů. Problematika jejího zahřívání je popsána v kapitole 2.3.2. Jak bylo popsáno v této kapitole, na řídicí desce galvanometrů je připevněna hliníková destička, která chladí čipy. Chladič byl připevněn právě na ni.

Aktivní chladič<sup>2</sup> se ale hodí i pro ostatní součástky. Vzduch, který nasaje je totiž distribuován celou vnitřní konstrukcí projektoru a chladí tak všechny vnitřní součástky. Tomuto proudění byla věnována zvláštní pozornost při designu konstrukce pouzdra.

### Přístup k portům Raspberry Pi

Note!

[TODO: +oddělení nabíjecího portu od nich]

### Modularita, jednoduchá konstrukce

Pouzdro bylo designováno také aby bylo modulární. Aby bylo možné při prototypování vyměnit pouze jednu součástku, která nesedí místo tisknutí celého pouzdra od začátku. S modularitou bylo zároveň dosaženo jednoduché konstrukce, v jakékoliv části stavby je možné dočasně odstranit díly, aby bylo možné upravit připevnění vnitřní elektroniky.

## 2.9.2 Konstrukce

Pouzdro se skládá ze čtyř vertikálních stěn s otvory, do kterých zapadají horizontální desky. Horizontální desky v sobě mají vždy z vrchní strany vyhloubené prohlubně, do kterých pasují elektronické součástky, které na nich leží. Ze spodí strany pak mají výstupky, které přidržují elementy na deskách

---

<sup>2</sup>chladič s větrákem, který aktivně vytváří proud vzduchu

pod nimi. Díky tomu se elektronické součástky při pohybu projektoru volně nepohybují ve vnitřních prostorech.

Tyto prohlubně a výstupky jsou hlavní důvod, proč byl k výrobě dílů využit 3D tisk místo například laserového řezání.

Note!

[TODO: PHOTOS]

Note!

[TODO cos udelal syho vlastne a jak to facha]

## 2.10 cooler

## 2.11 napájení

Note!

[TODO ay tak co, zvladls to dat na baterky?]

# Kapitola 3

## software

Tato kapitola se zabývá softwarovou výbavou laserového projektoru. Detailně popisuje klíčové programy, jejich funkce a způsob, jakým mezi sebou komunikují. Mezi tyto programy patří program lasershow, který obsluhuje vykreslování, programy pro interakci s uživatelem (dále „UI programy“) jako UI, web\_ui a discord\_bot, a také program wifi\_manager, který spravuje wifi připojení Raspberry Pi.

V neposlední řadě popisuje také instalační skript, který výrazně zjednodušuje instalaci všech zmíněných programů a jejich závislostí.

### 3.1 komunikace mezi programy

Všechny tyto programy jsou propojeny síťovými sockety zprostředkovanými knihovnou ZeroMQ, která nabízí frontu<sup>1</sup> zpráv, bez potřeby samostatně běžícího brokeru.

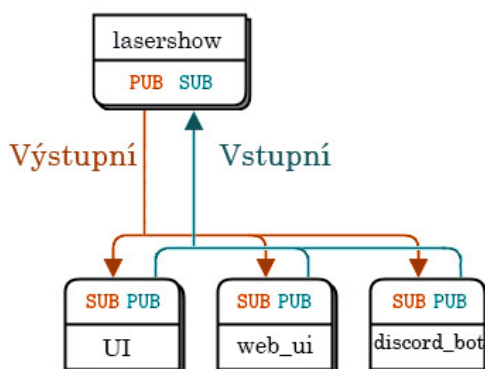
Tato knihovna je využita k vytvoření dvou socketů, jedním lasershow přijímá příkazy od uživatele prostřednictvím ostatních programů (vstupní socket

---

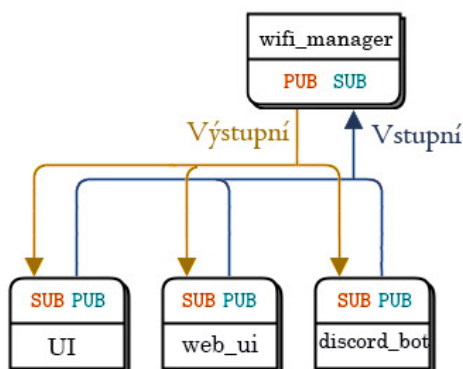
<sup>1</sup>Ve frontě jsou zprávy seřazeny od té nejdříve odeslané.

na portu 5557, viz obr. ??) a do druhého posílá informace ostatním programům (výstupní socket na portu 5556, viz obr. ??), aby je zprostředkovaly uživateli. Do prvního zmíněného posílají programy interagující s uživatelem příkazy pro programy lasershow a wifi\_manager. Do druhého posílá lasershow informace o stavu a změnách nastavení a také wifi\_manager informace o stavu a změnách v nastavení WiFi.

Příkazy pro programy lasershow a wifi\_manager vypadají následovně [TODO: Note! příklady příkazů pro lasershow a wifi\_manager z [https://github.com/phuid/laser\\_projector/blob/master/README.md](https://github.com/phuid/laser_projector/blob/master/README.md)] [TODO: Note! příklady status infos od lasershow a wifi\_manager z [https://github.com/phuid/laser\\_projector/blob/master/README.md](https://github.com/phuid/laser_projector/blob/master/README.md)]



Obrázek 3.1: komunikace mezi programy vstupním socketem na portu 5557



Obrázek 3.2: komunikace mezi programy výstupním socketem na portu 5556

## 3.2 Lasershow

### 3.2.1 Úvod

Program lasershow je psaný v jazyce c++. Tento jazyk je kompilovaný a díky tomu je rychlý a běží samostatně. Kdybych využil interpretovaný jazyk, přidal bych k operačnímu systému další vrstvu neovlivnitelných záseků – interpreter [18].

Note!

[**TODO: co dela - co do projektu dava ig**] Lasershow obsluhuje samotné vykreslování. Dostane-li od UI programů

Program byl inspirován projektem <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow><sup>2</sup>. Velkou výhodou oproti zmíněnému programu je možnost s programem interagovat i v průběhu promítání. Díky tomu je možné měnit nastavení promítání bez nutnosti zastavit program a ztratit všechny jeho data.

### 3.2.2 Využití knihovny

ZeroMQ

ADCACDASFASDFAH sassyyy

, toto rozhraní využívám pomocí knihovny ze serveru <https://github.com><sup>3</sup>

pigpio

pwm

### 3.2.3 Chování programu

Tento program pomocí knihovny ZeroMQ zaregistruje vstupní TCP socket na portu 5557 a přihlásí se na něm k odběru zpráv, které do něj publikují

---

<sup>2</sup>staženo 28. 12. 2023

<sup>3</sup>[https://github.com/abelectronicsuk/ABElectronics\\_CPP\\_Libraries/tree/master/ADCDACPi](https://github.com/abelectronicsuk/ABElectronics_CPP_Libraries/tree/master/ADCDACPi); staženo 2. 1. 2024



ostatní programy. Zároveň podobně zaregistruje výstupní socket na portu 5556, do kterého později bude posílat zprávy pro programy, které interagují s uživatelem. Note!

[TODO: příklad zmq]

Note!

[ use [https://cs.overleaf.com/learn/latex/Code\\_Highlighting\\_with\\_minted](https://cs.overleaf.com/learn/latex/Code_Highlighting_with_minted) instead - function highlights]

```
1 // Clone server Model One
2
3 #include "zmq.hpp"
4 #include "zmq_addon.hpp"
5 #include <chrono>
6 #include <thread>
7 #include <iostream>
8 #include <string>
9
10 int main(void)
11 {
12     // Prepare our context and publisher socket
13     zmq::context_t ctx(1);
14
15     zmq::socket_t publisher(ctx, zmq::socket_type::pub);
16     publisher.bind("tcp://*:5556");
17
18     zmq::socket_t command_receiver(ctx, zmq::socket_type::sub);
19     command_receiver.bind("tcp://*:5557");
20     command_receiver.set(zmq::sockopt::subscribe, "");
21
22     uint64_t wahoo = 0;
23     std::cout << "start done" << std::endl;
24
25     while (true)
26     {
27         zmq::message_t received;
28         command_receiver.recv(received, zmq::recv_flags::none);
29     }
```

```

29
30     std::cout << "received: \"" << received.to_string()
    << "\"" << std::endl;
31
32     std::string msg_string = "nice, thank you bro, i got
    this from you \"" + received.to_string() + "\"";
33
34     zmq::message_t msg(msg_string.c_str(), msg_string.
    length() + 1);
35     publisher.send(msg, zmq::send_flags::none);
36
37     wahoo++;
38 }
39 return 0;
40 }

```

```

1 // Clone client Model One
2
3 #include "zmq.hpp"
4 #include "zmq_addon.hpp"
5 #include <iostream>
6 #include <thread>
7 #include <chrono>
8
9 int main(void)
10 {
11     // Prepare our context and updates socket
12     zmq::context_t ctx(1);
13
14     zmq::socket_t subscriber(ctx, zmq::socket_type::sub);
15     subscriber.connect("tcp://localhost:5556");
16     subscriber.set(zmq::sockopt::subscribe, "");
17
18     zmq::socket_t command_sender(ctx, zmq::socket_type::pub);
19     command_sender.connect("tcp://localhost:5557");
20
21     std::cout << "start done" << std::endl;
22

```

```

23     while (true)
24     {
25         std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds
(20));
26
27         zmq::message_t received;
28         while(subscriber.recv(received, zmq::recv_flags::
dontwait)) {
29             std::cout << "received: \"" << received.to_string
() << "\"" << std::endl;
30         }
31
32         // read user input
33         std::string u_in;
34         getline(std::cin, u_in);
35
36         zmq::message_t msg(u_in.c_str(), u_in.length());
37         command_sender.send(msg, zmq::send_flags::none);
38     }
39     return 0;
40 }

```

Následně se pomocí připojí k D/A převodníku skrz rozhraní SPI[19] a čeká na zprávy od ostatních programů. Jakmile zprávu obdrží, zpracuje ji. Pokud je požadována změna nastavení, okamžitě ji provede, aktuální nastavení si uloží do souboru lasershow.cfg a přepočítá informace o promítaném obrazu, je-li to nutné. (Například, změní-li se nastavení trapezoid-horizontal, přepočítá souřadnice vykreslovaných bodů.) Jestliže je požadováno vykreslení obrazu ze souboru, začne obraz vykreslovat. Při tom průběžně posílá informace o stavu vykreslování do výstupního socketu. I při vykreslování obrazu tento program zpracovává zprávy a pokyny ze vstupního socketu.

Note!

**[TODO: co to vlastne umi - umoznuje zive skrz UI menit nastaveni - laseru, trapezoid souradnic, v UI je viditelny stav vykreslovani]**

Note!

**[TODO: diagram programu]**

### 3.3 wifi\_manager

V rámci této práce byl vyvinut ještě jeden program, který se přímo nepodílí ani na projekci, ani na interakci s uživatelem.

Program `wifi_manager` je také napsaný v jazyce JavaScript s využitím runtime Node.js. Registruje se ke stejným socketům jako `lasershow`, přijímá příkazy týkající se nastavení WiFi na Raspberry Pi TCP socketem na portu 5557 a odesílá zpětnou vazbu na TCP socket s portem 5556.

Note!

**[TODO: jak se komunikace s `lasershow` odlišuje od `wifi_managera`]**

Note!

**[TODO: ukazka(jak interaguje se systemem, aby toho vseho dosahl lol)]**

Hlavním úkolem tohoto programu je správa a konfigurace WiFi připojení na Raspberry Pi. Přijímá příkazy od ostatních programů a nastavuje WiFi parametry na základě těchto příkazů. Tím umožňuje uživatelům snadno a pohodlně nastavit WiFi připojení na svém zařízení.

Stejně jako `lasershow`, `wifi_manager` také posílá zpětnou vazbu ostatním programům, aby informoval o stavu a změnách v nastavení WiFi. Tímto způsobem je zajištěna komunikace a synchronizace mezi všemi programy v laserovém projektoru.

Celkově `wifi_manager` přispívá k plynulému a efektivnímu provozu laserového projektoru tím, že umožňuje snadnou správu a konfiguraci WiFi připojení na Raspberry Pi.

### 3.4 UI

Program UI je také psaný v jazyce c++ a využívá knihovnu `WiringPi`, která umožňuje jednoduchou komunikaci s GPIO piny Raspberry Pi. Tento program ovládá OLED displej, který je připojený na Raspberry Pi pomocí roz-

hraní I2C, a přijímá vstup od uživatele čtením rotačního enkodéru s tlačítkem.

Program se při začátku exekuce pomocí knihovny ZeroMQ přihlásí ke vstupnímu socketu a k odběru zpráv z výstupního TCP socketu, kam publikuje zprávy o stavu vykreslování program lasershow. Dále si pomocí knihovny wiringPi zaregistruje zpracovávání přerušení z enkodéru a tlačítka na něm a čeká buď na interakci s uživatelem, který by skrz něj poslal zprávy programu lasershow, nebo na zprávy od lasershow, které by zobrazil uživateli.

Note!

[TODO: diagram programu]

## 3.5 web\_ui

Narozdíl od předchozích dvou zmiňovaných programů je program web\_ui psaný v jazyce javascript, ten nepatří mezi nejrychlejší, ale díky runtime Node.js a knihovnám http a formidable v něm bylo časově nenáročné vytvořit http web server.

Tento server běží na portu 3000 a je dostupný z lokální sítě (tzn. přímo z Raspberry Pi na adrese http://localhost:3000 nebo z jakéhokoli zařízení na stejné lokální síti na ip adrese RPi). Program je využíván pro jednoduchou interakci s uživatelem, který může pomocí webového prohlížeče ovládat laserový projektor pár kliknutími i zadávat vlastní příkazy klávesnicí.

Note!

[na webu jsou konzole pro ssh, wifiman a lasershow, taky fast project forms]

Note!

[TODO: příklad http serveru]

```
1 const http = require('http');
2 const fs = require('fs');
3 const path = require('path');
4
5 const server = http.createServer((req, res) => {
6   // Get the file path from the request URL
7   const filePath = path.join(__dirname, req.url);
```

```

8
9 // Check if the file exists
10 fs.access(filePath, fs.constants.F_OK, (err) => {
11     if (err) {
12         // File not found
13         res.statusCode = 404;
14         res.end('File not found');
15     } else {
16         // Read the file and send it as the response
17         fs.readFile(filePath, (err, data) => {
18             if (err) {
19                 // Error reading the file
20                 res.statusCode = 500;
21                 res.end('Internal server error');
22             } else {
23                 // Set the appropriate content type and send the
24                 // file data
25                 const ext = path.extname(filePath);
26                 let contentType = 'text/plain';
27                 if (ext === '.html') {
28                     contentType = 'text/html';
29                 } else if (ext === '.css') {
30                     contentType = 'text/css';
31                 } else if (ext === '.js') {
32                     contentType = 'text/javascript';
33                 }
34                 res.setHeader('Content-Type', contentType);
35                 res.end(data);
36             }
37         });
38     }
39 });
40 });
41
42 const port = 3000;
43 server.listen(port, () => {
44     console.log(`Server running on port ${port}`);

```

45 } );

Stejně jako program UI za pomoci knihovny ZeroMQ tento program odebírá z výstupního socketu zprávy o průběhu vykreslování od programu lasershow a odesílá mu pokyny uživatele na vstupní socket.

Note!

[TODO: příklad přihlášení k socketům v js]

Note!

[TODO: xterm + ssh]

## 3.6 discord bot

Posledním programem, který je využíván k interakci s uživatelem je discord.bot, který je také psaný v jazyce javascript v runtime Node.js, stejně jako předchozí programy se přihlásí k socketům knihovnou zmq, ale na rozdíl od nich tento program může interagovat s uživatelem přes internet ať už je kdekoli na světě. Pomocí knihovny discord.js se přihlásí k předem vytvořenému bot účtu, který může na předem vytvořeném discord serveru čekat na zprávy od uživatele, ty posílat do vstupního socketu a posílat uživateli zpětnou vazbu, kterou přijme z výstupního socketu.

## 3.7 install.sh

Note!

[TODO: install.sh]

Note!

[TODO udelals to vubec dobre? porovnej se s ostatnima]

# Kapitola 4

## Diskuze

### 4.1 ruzne technologie

[6] str. 394

Digital micromirror devices (DMDs) and liquid crystal displays (LCDs) have also captured the field of image projection away from oscillating scanners. uz existuje MEMS - pcb, co ma X i Y v jednom zrcatku, je super a vsechno jiny prave nahrazuje, na user levelu je i docela podobny galvum - jedna civka x druha y - overit,, idk, jesti tam civky nejsou proste pod tim a nejenom v kloubech

Note!

[vytvoril jsem projektor, ten je mozne sestavit s minimální znalostí elektroniky, staci umet pajet, jde mi o to zajemcum predstavit jak to programovat, jak funguji vektorove formaty, ne jak funguje hw, ten se totiz meni - MEMS]

Note!

[kam pokracovat: api pro random programy /just na github napsat lol pouzivejte tyhle funkce na ovladani DAC ahah - aby si mohli pokrocilejsi kutilove taky hrat a randomly posouvat laser ig]



## 4.2 další zpracování tématu

udělal jsem to dobře? vybral jsem si dobré techniky? like byl by lepší ten harddrive z yt? nebo fakt to mělo být napájeny z baterek a ne ze zásuvky?

že hej že [typek z vut](#) udělal kindu kurva podobnej HW jak ja, ale ja to mam trochu jinak, cuz jsem o tom nevěděl, ale ofc moje je lepší :)) also to dělala hromada dalších lidí na internetu ten hw, also od [gh.com/tteskac](https://github.com/tteskac) mam executable, kterou jsem ale totalně ze rozšířil a taky jsem přidal všechno moje genialní ui muhahahah

**ze este další zpracování: (19.10.2023 všechny dostupné)**

1. used/modified code

- <https://github.com/marcan/openlase/blob/master/tools/svg2ild.py>
- <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>
- [https://github.com/sabhiram/raspberry-wifi-conf/blob/master/app/wifi\\_manager.js](https://github.com/sabhiram/raspberry-wifi-conf/blob/master/app/wifi_manager.js)
- [http://www.electronicayciencia.com/wPi\\_soft\\_lcd/](http://www.electronicayciencia.com/wPi_soft_lcd/)
- [typek z vut](#)

2. další zpracování stejny projekty

- <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Show-With-Real-Galvos/>
- <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>
- <https://www.instructables.com/DIY-STEPDIR-LASER-GALVO-CONTROLLER/>
- [borec na yt hard-drive text gut](#)

### 3. other useful thingies

- <https://hackaday.io/project/172284-galvo-laser-cutterengraver>
- <https://hackaday.io/project/172284/instructions>
- <https://learn.adafruit.com/mcp4725-12-bit-dac-with-raspberry-pi/hooking-it-up>
- [https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA\\_IDTF14\\_rev011.pdf](https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA_IDTF14_rev011.pdf)
- cool demos <https://marcan.st/projects/openlase/>
- [https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-\\_hBR8](https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-_hBR8)

### 4. read

- <https://www.laserworld.com/en/glossary-definitions/90-t/2797-ttl-modulation-en.html>

# Závěr

Note!

[FIXME proc vsichni maji zaver v obsahu jako section, kdyz pak  
vypada, ze je pod posledni kapitolou??] [TODO závěr][TODO muj  
projekt je dostupný na githubu] [vytvoril jsem projektor, ten je mozne  
sestavit s minimální znalostí elektroniky, staci umet pajet, jde mi o  
to zajemcum predstavit jak to programovat, jak funguji vektorove  
formaty, ne jak funguje hw, ten se totiz meni - MEMS] [tim ze mam  
linux lasershow obcas zpomali, obcas zrychli, samozrejme mam ose-  
treny, aby nezrychlily framy, ale pointy ano]

Note!

Note!

Note!

Note!

# Literatura

1. MAROTO, Marcos; CAÑO, Enrique; GONZÁLEZ, Pavel; VILLEGAS, Diego. Head-up Displays (HUD) in driving. *arXiv preprint arXiv:1803.08383* [online]. 2018 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.08383>.
2. EASTMAN, Jay. Brief history of barcode scanning. In: *OSA Century of Optics* [online]. Optical Society, 2015, s. 128–133 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://opg.optica.org/books/download.cfm?product=11&v=128>.
3. QUAN, Haoyuan; ZHANG, Ting; XU, Hang; LUO, Shen; NIE, Jun; ZHU, Xiaoqun. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive Materials* [online]. 2020, roč. 5, č. 1, s. 110–115 [cit. 2024-01-28]. ISSN 2452-199X. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.12.003>.
4. EDL, MMTJ; MIZERÁK, Marek; TROJAN, Jozef. 3D laser scanners: history and applications. *Acta Simulatio* [online]. 2018, roč. 4, č. 4, s. 1–5 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201403279>.
5. PFEIFER, Norbert; BRIESE, Christian. Laser scanning—principles and applications. In: *Geosiberia 2007-international exhibition and scientific congress*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2007, cp–59.

6. MARSHALL, Gerald F; STUTZ, Glenn E. *Handbook of optical and laser scanning* [online]. Taylor & Francis, 2012 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41669/9781439808801.pdf?sequence=1>.
7. BEN MAKES EVERYTHING. *DIY Laser Projector - Built from an old hard drive* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-\\_hBR8](https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-_hBR8). Zdroj obrázku 1.3.
8. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary* [online]. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=313-01-02>.
9. WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Galvanometer* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2023. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Galvanometer&oldid=1171003585>.
10. FERROVIAL. *What is a galvanometer?* [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: <https://www.ferrovial.com/en/stem/galvanometer>.
11. LASERFX. *How Laser Shows Work - Scanning System* [online]. [cit. 2023-10-19]. Dostupné z: <http://www.laserfx.com/Works/Works3S.html>.
12. AYLWARD, Redmond P. Advanced galvanometer-based optical scanner design. *Sensor Review*. Zář 2003, roč. 23, č. 3, s. 216–222. Dostupné z DOI: [10.1108/02602280310481968](https://doi.org/10.1108/02602280310481968).
13. WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Mirror galvanometer* [online]. [cit. 2023-10-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mirror\\_galvanometer&oldid=1170954323](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mirror_galvanometer&oldid=1170954323).
14. INTERNATIONAL LASER DISPLAY ASSOCIATION. *The ILDA Standard Projector* [online]. 1999, s. 11, 28 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: [https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA\\_ISP99\\_rev002.pdf](https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA_ISP99_rev002.pdf).

15. INSTRUCTABLES, DELTAFLO. *Arduino Laser Show With Real Galvos* [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Show-With-Real-Galvos>.
16. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MCP4821/MCP4822 12-Bit DACs with Internal VREF and SPI™ Interface Datasheet [online]. 2005 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21953a.pdf>.
17. TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier Datasheet [online]. 2013 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl082-n.pdf?ts=1706076567444&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl082-n.pdf?ts=1706076567444&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F).
18. PŘÍSPĚVATELÉ WIKIPEDIE. *Interpret (software)* — *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. 2021. Dostupné také z: [\url{https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Interpret\\_\(software\)&oldid=19846734}](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Interpret_(software)&oldid=19846734). [Online; navštíveno 3. 02. 2024].
19. PŘÍSPĚVATELÉ WIKIPEDIE. *Serial Peripheral Interface* — *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. 2022. Dostupné také z: [\url{https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial\\_Peripheral\\_Interface&oldid=21053330}](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial_Peripheral_Interface&oldid=21053330). [Online; navštíveno 3. 02. 2024].

# Seznam obrázků

1.1	mechanika polygonových skenerů . . . . .	13
1.2	úhlová rozdílnost zrcátek polygonového skeneru a paprsky od nich odražené . . . . .	13
1.3	příklad projekce laserového projektoru s polygonovým skene- rem; zdroj [7] . . . . .	14
1.4	zapojení a vnitřní konstrukce galvanometrů . . . . .	16
1.5	různé konstrukce galvanometrových skenerů . . . . .	17
2.1	Zapojení DAC a zesilovačů k RPi a řídicí desce galvanometrů .	26
2.2	Zapojení čipu TL082 pro jeden kanál řídicí desky galvanometrů	27
3.1	komunikace mezi programy vstupním socketem na portu 5557	31
3.2	komunikace mezi programy výstupním socketem na portu 5556	31

## Seznam tabulek