



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## SVĚTELNÉ LED TRUBICE PRO SYNCHRONIZOVANÉ OSVĚTLENÍ PÓDIA

LED LIGHT TUBES FOR SYNCHRONIZED STAGE LIGHTING

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Natálie Burešová**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Marek Sikora**

**BRNO 2025**





# Diplomová práce

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

**Studentka:** Bc. Natálie Burešová

**ID:** 231330

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2024/25

## NÁZEV TÉMATU:

### Světelné LED trubice pro synchronizované osvětlení pódia

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvořit šest průsvitných trubíc o délce cca 1-1,5 metru, které budou obsahovat dostatečně výkonné RGB LED diody. Tyto trubice budou sloužit pro osvětlení pódia během živého vystoupení hudební skupiny nebo např. pro vizuální efekty při natáčení hudebních videoklipů. Trubice budou mít bateriové napájení a mikrokontroler (např. Arduino) pro ovládání osvětlení a vytváření světelných efektů (např. stroboskop, efekt padajících kapek, regulace jasu, atd.). Osvětlení bude ovládáno bezdrátově s pomocí protokolu DMX512, aby jej bylo možné synchronizovat s hrající hudbou.

Úkolem diplomové práce je vybrat a nastudovat všechny potřebné technologie a vytvořit kompletní návrh trubíc následně trubice vyrobit. Důraz bude kladen na důmyslnost návrhu, funkčnost řešení, minimální zpoždění a maximální spolehlivost bezdrátové komunikace. Na závěr budou trubice důkladně otestovány ve spolupráci s rockovou kapelou během živých vystoupení. Pro tento účel studentka vytvoří MIDI stopy pro ovládání trubíc skrze kapelní systém pro hodinový koncertní repertoár. Posledním úkolem je vytvoření podrobného uživatelského manuálu.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 10.2.2025

**Termín odevzdání:** 27.5.2025

**Vedoucí práce:** Ing. Marek Sikora

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

#### UPOZORNĚNÍ:

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



## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá technologiemi světelné pódiové techniky, jejím nastudováním, a následným vytvořením jednoho prototypu LED světelných trubíc ovládaných pomocí protokolu DMX. Trubice budou přijímat zprávy z vysílače pomocí rádiové komunikace. Výrobek je určen pro využití živých vystoupeních hudebních interpretů. Z toho důvodu je kladen důraz na minimální zpoždění mezi efekty.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

LED trubice, DMX512, MIDI, přijímač, vysílač, ESP8266, Arduino, mikrokontrolér, světelné efekty, rádiová komunikace

## **ABSTRACT**

This thesis deals with lights protocols, setting a prototype and construction LED tubes, reading up DMX and MIDI digital protocols used in music industry. DMX will be used for control light effects. We use radio modul for communication between tubes for minimal delay.

## **KEYWORDS**

LED tube, DMX512, MIDI, transceiver, receiver, ESP8266, Arduino, microcontroller, light effects, radio communication



BUREŠOVÁ, Natálie. *Světelné LED trubice pro synchronizované osvětlení pódia*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2025. Vedoucí práce: Ing. Marek Sikora



## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Bc. Natálie Burešová
<b>VUT ID autora:</b>	231330
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2024/25
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Světelné LED trubice pro synchronizované osvětlení pódia

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno .....

.....

podpis autorky\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.



## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Marku Sikorovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále děkuji panu Ing. Ondřejovi Krajsovi za podnětné návrhy během výroby mechanických částí práce. Velké díky patří rodině a přátelům, za jejich podporu a trpělivost nejen během psaní práce.



# Obsah

Úvod	21
<b>1 Světlo, barva</b>	<b>23</b>
1.1 Světlo	23
1.2 Barva	23
1.2.1 Druhy míchání barev	23
1.3 Vnímání barev	25
<b>2 Potřeby světelných efektů na jevišti</b>	<b>27</b>
2.1 Světelná technika na pódíích	27
2.1.1 Světelné efekty	27
2.2 Alternativní produkty	28
<b>3 LED</b>	<b>29</b>
3.1 Dioda	29
3.2 Adresovatelné LED pásy	29
3.3 Výhody LED	29
3.4 Využití LED v běžném životě	30
<b>4 Digitální protokoly</b>	<b>31</b>
4.1 Protokol DMX512	31
4.2 Protokol MIDI	31
4.2.1 Využití MIDI v projektu	34
4.3 Další digitální protokoly využívané v hudebním průmyslu	34
4.3.1 ADAT	34
4.3.2 Dante	35
4.3.3 S/PDIF	35
<b>5 Návrh a realizace projektu</b>	<b>37</b>
5.1 Požadavky a způsob využití	37
5.2 Postup při realizaci	38
5.2.1 Teoretický výpočet proudových podmínek trubice	39
5.3 Konstrukční řešení	39
5.3.1 Vysílač	39
5.3.2 Přijímač	44
5.4 Použitý LED pásek	50
5.5 ESP8266 a Arduino	51
5.6 Výroba desek	51

<b>6</b>	<b>Rozpočet</b>	<b>53</b>
6.1	Orientační rozpočet použitých komponent . . . . .	53
6.2	Finální rozpočet produktu . . . . .	54
6.3	Využití 3D tisku . . . . .	55
<b>7</b>	<b>Testování</b>	<b>59</b>
7.1	Fáze prototypu . . . . .	59
7.2	Úskalí při realizaci . . . . .	60
7.2.1	Řešení úskalí . . . . .	60
7.3	Výsledky testování . . . . .	61
7.4	Změny po testovací fázi . . . . .	61
<b>8</b>	<b>Software Arduino</b>	<b>65</b>
8.1	Implementace knihoven . . . . .	65
8.2	Kód vysílače v testovací fázi . . . . .	65
8.3	Kód přijímače v testovací části . . . . .	68
8.4	Zpracování DMX ve vysílací části . . . . .	69
8.5	Testování více přijímačů . . . . .	70
8.6	Selekce dat každé trubici . . . . .	70
8.7	Přidání více DMX kanálů . . . . .	70
8.8	Finální kód vysílače . . . . .	71
8.9	Finální kód přijímače . . . . .	71
8.9.1	Mapování barev . . . . .	72
8.9.2	Použité efekty . . . . .	72
	<b>Závěr</b>	<b>75</b>
	<b>Literatura</b>	<b>77</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>79</b>
<b>A</b>	<b>Přílohy</b>	<b>81</b>
A.1	Elektronické přílohy . . . . .	81
A.1.1	Složka s kódy . . . . .	81
A.1.2	PDF . . . . .	81

# Seznam obrázků

1.1	Viditelné barevné spektrum. . . . .	24
1.2	Barevné modely. Obrázek převzat z [6]. . . . .	24
4.1	Datový byte, obrázek převzat z [9] . . . . .	32
4.2	Struktura zprávy MIDI Note on, obrázek převzat z [9] . . . . .	33
4.3	Struktura zprávy MIDI Note off, obrázek převzat z [9] . . . . .	33
5.1	Blokové schéma MIDI–DMX. . . . .	37
5.2	Blokové schéma vysílače. . . . .	40
5.3	Schéma zapojení vysílače. . . . .	42
5.4	Osazená deska vysílače. . . . .	43
5.5	Blokové schéma přijímače. . . . .	45
5.6	Schéma zapojení na zdrojové desce. . . . .	46
5.7	Schéma zapojení procesorové desky. . . . .	48
5.8	Osazený přijímač. . . . .	49
6.1	3D tisk. . . . .	55
6.2	Výrobní výkres pro tisknutelné komponenty podstavce. . . . .	56
6.3	Výrobní výkres pro tisknutelné díry vysílače. . . . .	57
7.1	Prototyp vysílače. . . . .	59
7.2	Prototyp přijímače. . . . .	59
7.3	Navržený prototyp. . . . .	60
7.4	Srovnání podstavců. . . . .	62
7.5	Srovnání trubic. . . . .	63
8.1	Testovací DMX controller. . . . .	70



# Seznam tabulek

6.1	Orientační rozpočet komponent prototypu. . . . .	53
6.2	Rozpočet použitých komponent s cenami a množstvím pro finální podobu. . . . .	54



## Seznam výpisů

- 8.1 Ukázka komunikace pomocí sériového portu, vysílač. . . . . 65
- 8.2 Ukázka kódu pomocí sériového portu, přijímač. . . . . 68



# Úvod

Světelné efekty jsou v těchto dnech velmi žádané zejména v hudebním průmyslu. Během živé produkce umělců tak divák může získat kromě sluchového zážitku také ten vizuální. Toto spojení vytváří celkový dojem uměleckého vystoupení.

Na internetu je možné sehnat hotové výrobky, které ovšem nemusí odpovídat našim požadavkům. Hotové produkty také často neobsahují protokol DMX512 spolu s ovládáním takovým, jaký je požadován, anebo nejsou dostupné s bateriovým napájením. Z těchto důvodů je zde řešením vyrobit si takové světelné zařízení svépomocí, s konkrétními požadavky a efekty, které budou během vystoupení přizpůsobeny jednotlivým písním.

V mé práci se zabývám vytvořením vlastních světelných LED trubíc, které budou přímo odpovídat požadavkům kapely, která je bude následně využívat během svých vystoupení. Ačkoliv se na trhu najde několik podobných zařízení, navržený systém bude disponovat také světelnými efekty jako třeba stroboskop nebo regulace jasu a bude možné jej ovládat z pódia.

V rámci semestrálního úkolu jsem se věnovala teoretickému popisu světla a LED trubíc, návrhu, jak by mohl produkt vypadat, z čeho se bude skládat a jaká mohou být úskalí při výrobě a následném praktickém využití. K sestavení je využit mikrokontroler ESP8266, pro přenos informací potom protokol DMX512. LED trubice budou sloužit během živého vystoupení kapel tak, aby byla možnost synchronizace s hudbou. Během toho můžeme využít doporučení, že pro pomalejší skladby budeme využívat teplejší barvy, tzn. barvy s delší vlnovou délkou a pomalejší efekty. Naopak pro rychlejší písně využijeme studenější barvy a efekt stroboskopického blikání.

V navazující diplomové práci je kladen důraz na funkčnost a co nejmenší zpoždění přenosu zpráv, jsou vyrobeny zbývající trubice, vytvořeny efekty pro jednotlivé písně a opraveny nezbytné detaily a chyby. Dále budou doprogramovány kanály, jako jasový kanál a efektový kanál a je také potřeba zajistit kontrolní součet pro zabezpečení vůči ruchům z okolí.



# 1 Světlo, barva

Barva je výsledkem vnímání světla lidským okem, proto spolu tyto dva pojmy velmi souvisí. Pokud tedy vidíme nějaké světlo, pravděpodobně vidíme i nějakou barvu danou vlnovou délkou.

## 1.1 Světlo

Světlo je směs elektromagnetických vln, které kmitají. Rychlost světla ve vzduchu je zaokrouhleně

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}. \quad (1.1)$$

Veličiny spojené se světlem a vyzařováním jsou následující: jas, osvětlení, svítivost a světelný tok. Jas ovlivňuje citlivost lidského oka a je definován jako množství světla, které vyzařuje zdroj do oka. V praxi značí to, jak se oku jeví něco světlé, anebo tmavé. Značí se  $L$  a jednotkou je  $\text{cd m}^{-2}$ .

Osvětlenost určuje, kolik světla dopadne na určitou plochu – ať už ze zdroje nebo odrazem. Značí se  $E$  a jednotkou je lx.

Svítivost popisuje, kolik světelného toku je zdrojem vyzářeno do prostorového úhlu, tzn. v jednom směru. Značí se  $I$  a jednotkou je cd.

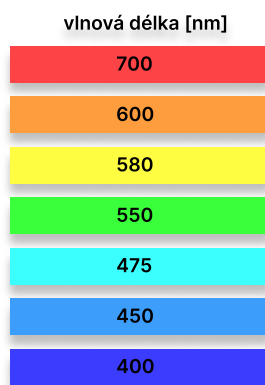
Světelný tok je podobný svítivosti, jen s tím rozdílem, že tok odpovídá celkovému množství světla ve všech směrech, ne pouze v jednom. Značí se řeckým  $\Phi$  a jednotkou je lm. [1],[2]

## 1.2 Barva

Existují 3 základní barvy, se kterými pracujeme – červená, zelená, modrá. Za pomoci nastavení různých poměrů těchto základních barev jsme schopni vidět různé barvy a jejich odstíny. Tyto barvy jsou definovány pomocí vlnové délky, kde každá barva odpovídá různé vlnové délce v řádech nanometrů. Tomu odpovídá viditelné barevné spektrum, obrázek vidíme na 1.1. [3]

### 1.2.1 Druhy míchání barev

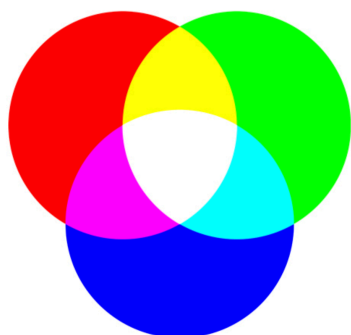
Existují 2 základní druhy mixování barev. Aditivní RGB a subtraktivní CMYK. Oba druhy vidíme na obrázku 1.2. Jak z názvu vyplývá, u aditivního míchání budeme postupně kombinovat základní barvy, dokud nám nevznikne požadovaný odstín. Tento model se nazývá RGB. Vidíme ho na obrázku 1.2a. Takovýto proces je znám ze základní školy, kde si děti vybarvují, a v případě, že nějaká barva pastelky chybí, je možné si barvu vytvořit aditivním mixováním. Ve světle je to velmi



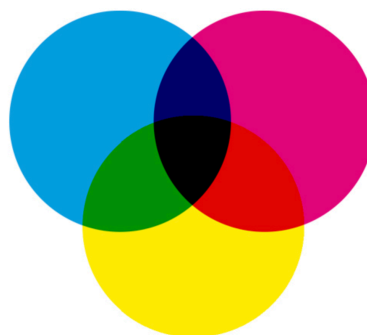
Obr. 1.1: Viditelné barevné spektrum.

podobné. K jednomu světlu se přidá jiná barva a tím má výsledná barva bohatší spektrum. Oko má také vlastnost nedokonalosti, která v tomto mísení barev zaručí vidění pouze výsledné barvy a nerozeznání složek, ze kterých se výsledek vytvořil.

Naopak subtraktivní míchání vzniká postupným odfiltrováním spektrálních složek výsledné barvy, resp. světla. Nazýváme ho CMYK barevný model na obrázku 1.2b. Použitím filtrů – purpurový, azurový a žlutý – se vytvoří nové, požadované odstíny barev. [3],[4]



(a) RGB barevný model.



(b) CMYK barevný model.

Obr. 1.2: Barevné modely. Obrázek převzat z [6].

## 1.3 Vnímání barev

Lidské oko je senzitivní díky tyčinkám a čípkům, které se nachází uvnitř oka, konkrétně na sítnici. Tyčinkami jsme schopni vnímat světelné a jasové rozdíly, tudíž jsou zásadní pro světlo a tmu, ne pro odstíny barev. Barvy jsou zachyceny receptory čípků, které naopak nerozeznají světlo ani tmu, ale 3 druhy čípků dokáží odchytit barvy různých vlnových délek. Krátké vlnové délky zachytí S-čípky, střední délky M-čípky a dlouhé vlnové délky odchytí L-čípky. Krátké vlnové délky odpovídají modré, fialové barvě, dlouhé vlnové délky naopak oranžové či červené. [3],[4]



## 2 Potřeby světelných efektů na jevišti

V současné době je více než žádoucí využít světelné efekty během vystoupení, aby si návštěvník odnesl kromě hudebního vjemu také ten vizuální. Běžně se na pódíích využívá světelných otočných hlavic, které jsou ovládány nejčastěji od zvukařského a osvětlovačského pultu pomocí protokolů pro jevištní techniku. Tyto výrobky jsou obvykle také na principu LED světel, které obsahují RGBW základní barvy spolu s bílou. Bílá barva vzniká smícháním všech třech základních. Pokud je samostatná bílá, je dosaženo sytější a jasnější barvy. [3]

### 2.1 Světelná technika na pódíích

Aby bylo vystoupení umělců nejen hudebním zážitkem, ale i vizuálním zážitkem, je zapotřebí, aby na ně bylo vidět. Nejvíce používanou technikou využívanou na pódíu během koncertů jsou inteligentní otočné hlavy. Jsou ovládány osvětlovačem pomocí DMX protokolu živě během vystoupení, případně je možnost přednastavení scény. Hlavice dělíme na Wash a Spot. S typem *Spot* se setkáme během koncertu, kdy jsou nasvíceni jednotliví hudebníci, případně vytváří grafické obrazce, známé jako *gobo*. Dalším typem je *Beam* hlavice, ve které má světlo úzký paprsek s viditelností na dlouhou vzdálenost. Dobře vypadá s kouřovými efekty. Pro ambientní osvětlení je využita *Wash* hlavice, která osvětlí velkou plochu pódia, světlo není příliš ostré a působí přirozeněji. Pokud je zapotřebí více efektů a dynamiky, je možné využít přímo tzv. *FX* hlavic, které umí vytvořit například strobo nebo kaleidoskop.

#### 2.1.1 Světelné efekty

Světelné efekty vytváří dynamičnost. Strnulé osvětlení není žádoucí po celou dobu produkce. Mezi nejpoužívanější efekty patří:

- Strobo
- Gobo
- Zoom
- Kaleidoskop
- Dimmer

Strobo efekt znamená vytvoření zpomaleného pohybu přerušovanými záblesky. Gobo zobrazuje různé barevné obrazce a vzory na nějakou plochu. Zoom mění šířku osvětlení. Kaleidoskop vytváří zajímavé barevné obrazce s možností pohybu, které musí zaujmout. Dimmer zastupuje stmívání a zesilování světla. Některé z těchto efektů budou v práci využity.

Budu využívat zejména strobo efektu, dále je žádoucí efekt padajících kapek, které mohou měnit barvy například v průběhu padání. Dalším plánovaným efektem, který bude během vystoupení využit sice nemá pojmenování, ale princip spočívá v postupném rozsvěcování LED diod symetricky od středu ke krajům. Dalším nezvyklým efektem je střídání rozsvěcování lichých a sudých LED diod. Mezi dalšími efekty bude použito také klasické střídání barev.

## 2.2 Alternativní produkty

Existují již dostupné výrobky, které splňují stejné účely, ale jsou mnohdy svými funkcemi nedostačující. Ovládání je často řešené komunikací po Wi-Fi, anebo výrobce má svou vlastní aplikaci, která k připojení LED pásků/světél využívá rozhraní Bluetooth. Právě taková komunikace našim požadavkům neodpovídá. Konkrétním produktem je například *Nara lamp*, která je ovládána mobilní aplikací. Využívá RGBW barvy, jediným rozdílem je až 90 LED diod na jeden metr pásku. Nedosahuje ale takových specifických požadavků na ovládání, jako je v mém projektu.[10].

Dalším již hotovým produktem, který je k sehnání v internetových obchodech, je *BeamZ Pro Zelos*. Ty obsahují RGBW diody. Zároveň je všesměrové vyzařování. Ovládání je pomocí DMX, případně mobilní aplikací, doba provozu je deklarována až 12 hodin, nicméně následné dobíjení trvá 7 hodin. Největším negativem je ovšem cena, která se pohybuje kolem 72 tisíc Kč za set, kde se nachází 8 trubic a přepravní obal. [11]

## 3 LED

LED, z anglického *Light-emitting diode*, je dioda, která vyzařuje světlo. Využití najde v dnešní době díky své dlouhé životnosti a nízké ceně. RGBW dioda obsahuje několik paralelně anebo opačně polarizovaných diod a vznikne tak barevná LED dioda. LED diodu si můžeme zjednodušeně představit jako žárovku, která neobsahuje vlákna. LED diody tedy využívají aditivní barevný model RGB, s přídatnou „W“ bílou barvou, která je jasnější. Pokud rozsvítíme diody se všemi čtyřmi kanály na nejvyšší možnou hodnotu, konkrétně 255, dostaneme maximální jas.[7]

### 3.1 Dioda

Jedná se o polovodičovou součástku. Osvětlení je zajištěno pohybem elektronů v polovodiči – elektrony přeskakují z vyšších energetických vrstev do nižších. Zbyteková energie je vyzářena ve formě světla. RGB diody mají specifické prahové napětí – to znamená, že dochází k takzvanému otevření diody, která se následně stává vodivou. Pokud je dosaženo prahového napětí (v našem případě RGBW je to kolem 2,5 V), dioda může začít svítit, zjednodušeně, pokud prochází proud, dioda svítí. Diody jsou ovšem velmi citlivé na velikost protékajícího proudu, tudíž je nutné si tuto vlastnost ohlídat, aby nedošlo k přehřátí nebo dokonce zničení diody. [7]

### 3.2 Adresovatelné LED pásy

V mém projektu budu využívat digitální LED pásy, jejichž jednotlivé diody jsou individuálně adresovatelné, díky čemuž je možné každou diodu naprogramovat separátně na jinou barvu nebo změnit jas. To docílíme softwarově při definici počtu LED. Také je možnost zpoždění rozsvícení jednotlivých diod neboli čipů, což umožňuje vytvořit světelné efekty, jako třeba padající kapky.

### 3.3 Výhody LED

Kromě zmíněné životnosti a ceně je spolehlivost při častém spínání nepochybně další výhodou. U žárovek by mohlo dojít ke shoření při nadměrném zapínání a vypínání. Pro náš projekt je výhodou také odolnost vůči nárazům nebo teplotním změnám. Pokud totiž LED pásy budou použity během vystoupení na jevišti, je nutný transport a odolnost při dešti nebo slunečnímu záření. [7]

### 3.4 Využití LED v běžném životě

Kromě jevištního využití je možné instalovat tyto LED pásy do obytné místnosti například nad kuchyňskou linku, čímž se zvýší osvětlení dané části. V obývacím pokoji může posloužit jako ambientní osvětlení místnosti. Výrazně se tak sníží energetické náklady oproti běžnému svícení v místnosti.

V dnešní době najdeme LED také u televizí. Některé jsou vybaveny funkcí *Ambient Light*, které jsou adresovatelné jednotlivě a barva diody se mění podle aktuálního obrazu televize. Výhodou je nižší zatížení lidského oka, jelikož je vytvořeno osvětlení nejen z displeje televize.

## 4 Digitální protokoly

V této kapitole budou popsány protokoly, které se využívají ve zvukové a osvětlovací technice. Jsou často využívány hudebníky během produkce. DMX512 a MIDI jsou protokoly, které využijí ve svém projektu a patří mezi nejznámější a nejvyužívanější.

### 4.1 Protokol DMX512

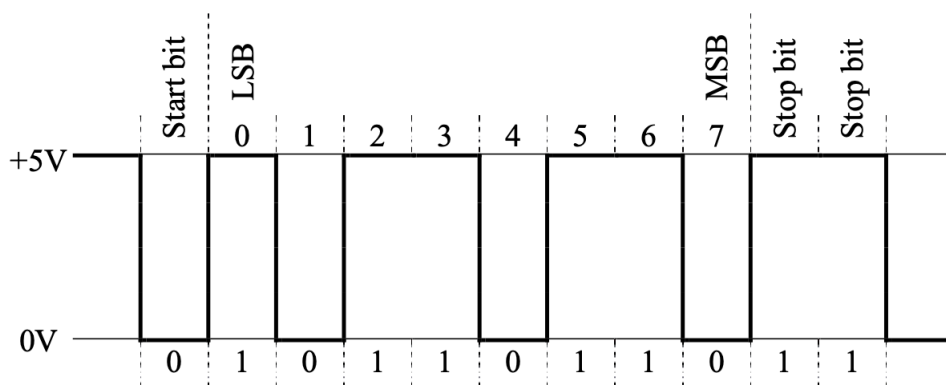
Tento řídicí protokol pro ovládání světelné techniky můžeme vidět zejména na jevištích a během živých vystoupeních umělců jak v divadle, tak na koncertě. Je možné tím ovládat světelné hlavy nebo například ohně. Název DMX512 pochází z anglického *Digital Multiplex*. Číslo 512 odpovídá počtu datových kanálů. Výhodou tohoto protokolu je automatizace, která může během vystoupení usnadnit práci. Pomocí jedné DMX linky, také označované jako vesmír, můžeme přenášet 512 kanálů sériově. Sériově znamená, že jsou data odesílána po jednom za sebou. Na začátku máme *Start Byte*. Ten je odeslán v každém rámci jako první slot. Určuje typ zprávy. Zbývajících 512 kanálů odesílá hodnotu z rozmezí 0 až 255, která je ovšem ohraničená zleva startovním bitem (logická 0) a zprava najdeme dva koncové bity (dvě logické 1). Nutná je také resetovací sekvence před každým dalším přenosem, označovaná jako *break*. Po této sekvenci následuje *MAB* sekvence, která oddělí *break* a následující startovní kód. Jak takový datový byte vypadá, vidíme na obrázku 4.1.

Potřebná je také adresa, aby bylo jasně dáno, které zařízení přijímá jaké povely. Pokud se bude tedy adresa shodovat, můžou dvě zařízení zobrazovat stejné efekty.

V praxi najde tento protokol využití během vystoupení, kdy osvětlovač může ovládat v reálném čase rotace a pohyb hlavic, mlhovač a podobnou techniku, nebo si scény může předem připravit pro usnadnění práce během koncertu. Technika založená na protokolu DMX využívá propojení pomocí 3 nebo 5 pinového XLR kabelu. [8],[9]

### 4.2 Protokol MIDI

Další použitý protokol v tomto projektu je MIDI, který je využit zejména v hudebním průmyslu a využívá se pro hudební elektroniku. Slouží ke komunikaci a propojení hudebních zařízení a nástrojů. MIDI zařízení zvuk jako takový negeneruje. Zvuk je vytvořen až po připojení k syntezátoru. Je nutné taky určit, jaké zařízení bude ve funkci *MASTER* a jaké ve funkci *SLAVE*. *MASTER* bude sloužit jako řídicí zařízení, chcete-li vysílač, které bude ovládat další zařízení. Je potřeba také nastavit komunikační kanál pro vysílač i přijímač (*SLAVE*), který bude zprávy přijímat.



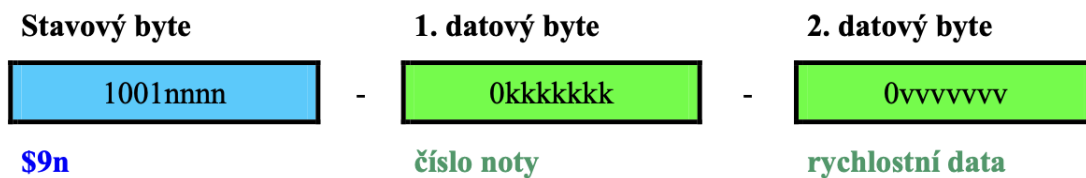
Obr. 4.1: Datový byte, obrázek převzat z [9]

Zasílání dat probíhá opět sériově, jako tomu bylo u protokolu DMX. Komunikace probíhá pomocí MIDI zpráv, které se přenáší MIDI kabelem, konektor MIDI IN zprávu přijme, konektor MIDI OUT zprávu odešle. Nejčastěji se jedná o zprávu *Note On/Off*. Ta způsobí zapnutí/vypnutí noty. Tato zpráva musí nutně obsahovat datový byte *pitch*, který značí informaci, jaká nota se má spustit/vypnout. Druhý datový byte je *velocity* a určuje rychlost stisku/puštění klávesy. Jak vypadají zprávy typu *Note on* a *Note off* vidíme na obrázcích 4.2 a 4.3.

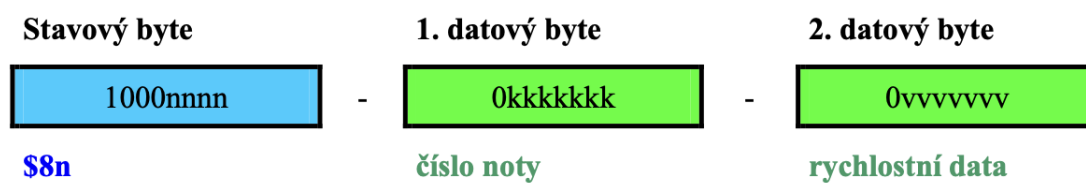
Další zprávou může být *Program change* způsobující změnu např. presetu. Proto se ve zprávě nachází jediný datový bit s číslem vybraného programu. Mezi další kanálová data patří *Polyphonic Key Pressure*, který reaguje na tlakovou citlivost. Podobný je *Channel Pressure*, který reaguje také na tlakovou citlivost, ale je společný pro všechny klávesy. V obou případech můžeme mluvit o dynamickém tlaku zvaném *aftertouch*. Odráží tak vyvinutý tlak na danou klávesu, v případě *Polyphonic Key Pressure*, což znamená sice jasnější a detailnější výraz, ovšem z hlediska datového přenosu je to náročnější na MIDI komunikaci. Obecně je využívanější *Channel Pressure*, jelikož je podporovanější. Setkat se můžeme také s *Pitch Bend Change*, čímž dokážeme tzv. ohýbat tón. Znamená to, že můžeme měnit výšky tónu.

Poslední častou zprávou je *System exclusive*, individuální formát pro každé zařízení nastavenou výrobcem.

Pro propojení se využívá 5pinového konektoru zvaného DIN. [9]



Obr. 4.2: Struktura zprávy MIDI Note on, obrázek převzat z [9]



Obr. 4.3: Struktura zprávy MIDI Note off, obrázek převzat z [9]

### 4.2.1 Využití MIDI v projektu

V mé práci má být využito MIDI stopy k řízení světelné scény, konkrétně změna barev, tempa přehrávání efektu a změna efektu. Můžeme si uvést jeden konkrétní příklad, jak by mohla taková MIDI stopa vypadat. Při realizaci převodníku MIDI-DMX byl vyvinut i speciální program, díky kterému si nastavíme a převedeme hodnoty MIDI na hodnoty v DMX protokolu. Budeme tedy třeba využívat hodnotu 254 pro *Note on* a hodnotu 0 pro *Note off*.

Bude-li se jednat o pomalou píseň, složena bude z intra, 1. sloky, 1. refrénu, 2. sloky, 2. refrénu, mezihry a konečného dvojnásobně dlouhého refrénu. V intru, jelikož se jedná o nájezd písně, je vhodné využívat dlouhé noty s nižší intenzitou, bude tedy nastavená nižší hodnota velocity. Postupně se bude intenzita zesilovat. První sloka je také jemná, můžeme nastavit opět dlouhé noty s nižší hodnotou velocity, ale abychom odlišili sloku od intra, bude hodnota nepatrně vyšší. Můžeme také v půlce sloky změnit barvu na podobný odstín, který ale bude okem pozorovatelný. Pro refrény bychom použili notu s nejvyšší hodnotou velocity a volíme kratší noty, aby bylo dosaženo dramatickosti. Stejný postup bude použit i pro další části skladby.

## 4.3 Další digitální protokoly využívané v hudebním průmyslu

Zde je popsáno několik rozhraní, které se v hudebním průmyslu využívají, ovšem v mém projektu použité nebudou.

### 4.3.1 ADAT

Dalším, neméně známým a využívaným protokolem je ADAT. Jedná se o zapojení pomocí jednoho optického kabelu, který má v sobě rozhraní TOSLink. Tento protokol dokáže přenášet pulzně kódové vzorky pomocí pulzně kódované modulace (PCM), dosahující rozlišení až 24 bitů. Využít lze vzorkovací frekvence 48 kHz. Pulzně kódované vzorky můžeme chápat jako zdigitalizování analogového signálu, respektive zvuku. Uvedený proces probíhá ve třech fázích – vzorkování, kvantování, kódování. Během vzorkování se vytvoří pravidelné časové úseky, například 41000 nebo 48000 vzorků za jednu sekundu. Existuje pro to výraz vzorkovací frekvence. Dalším krokem je kvantování, během kterého je každý vzorek přiřazen do určité škály. Posledním krokem je kódování, které převádí bity (8, 16, 24) na binární kód. ADAT rozhraní najde uplatnění zejména ve studiích a k propojení zvukových rozhraní. [9]

### **4.3.2 Dante**

Další využívaným protokolem je Dante. Přenos zvuku zde probíhá po síti díky Ethernetu. Setkáme se zde se vzorkovacím kmitočtem až 192 kHz a rozlišením až 32 bitů. Je možné přenášet jak zvuk, tak video. Výhodou může být nízké zpoždění a velká spolehlivost. Dante je v dnešní době považován za jeden ze zvukových digitálních standardů využívaných při nahrávání nebo během živých vystoupeních. [9]

### **4.3.3 S/PDIF**

Poslední rozhraním, které zde bude zmíněno, je S/PDIF. Jedná se o rozhraní využitě mezi uživateli hudební elektroniky, setkat se s ním můžeme u televizorů nebo Blu-ray přehrávačů. Využívá koaxiální propojení s RCA Cinch konektory nebo optiku. Data přenáší v již známé formě PCM. [9]



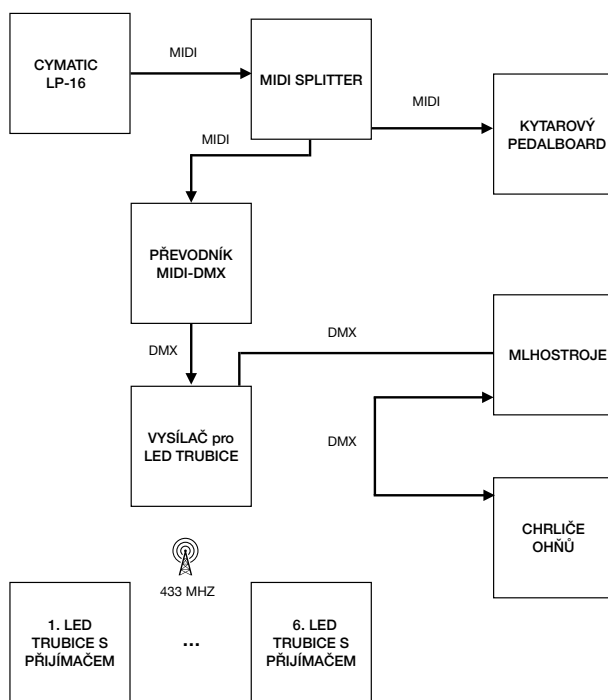
## 5 Návrh a realizace projektu

Mým cílem semestrální práce bylo nastudovat danou problematiku přenosu těchto zpráv, promyslet postup řešení a konkrétní součástky, dále navrhnout teoreticky mechanickou část a mít jeden prototyp stojanu i trubice hotov tak, aby byla možná bezdrátová komunikace pomocí radiového přenosu.

Navazující diplomová práce spočívá v doladění nezbytných technických požadavků, návrhu a výrobě všech kusů trubic včetně podstavce z 3D tiskárny. Samozřejmě největší částí bude programování. Pro diplomovou práci je nutné změnit některé z elektro částí, kvůli vyššímu odběru LED pásku při plné zátěži. Z tohoto důvodu je potřeba tyto komponenty pro jistotu naddimenzovat.

### 5.1 Požadavky a způsob využití

Světelné LED trubice, ovládané bezdrátově pomocí protokolu DMX512, najdou využití v kapele Free Fall z Uherského Hradiště. Toto seskupení využije hotové výrobky během koncertů, čímž doplní vizuální zážitek. Momentálně mají během produkce k dispozici mlhovače a ohně. Veškeré tyto vizuální efekty jsou ovládány pomocí MIDI stop, které jsou vyslány do převodníku MIDI–DMX. Transformaci zpráv vidíme na obrázku 5.1.



Obr. 5.1: Blokové schéma MIDI–DMX.

MIDI zprávy vytvořené v DAW programu jsou nadále implementovány do přehrávače Cymatic LP-16, který obsluhuje bubeník během vystoupení a spouští jednotlivé skladby s těmito přednastavenými efekty. Zprávy z přehrávače, stále ještě ve formátu MIDI, následují do MIDI splitteru a MIDI-DMX převodníku, kde jsou transformovány na DMX512 zprávy.

## 5.2 Postup při realizaci

Mým prvním krokem v této práci při realizaci bylo vyhledání dostupných informací. Začala jsem zvažovat potřebné komponenty. Jako první věc jsem si nakreslila blokové schéma, z něhož vyplynuly požadavky pro zapojení. Následovalo zjednodušené schéma zapojení, které se časem upravovalo a vyvíjelo na základě nezbytných komponent. Pokud víme, že bude potřeba bezdrátové napájení, budou potřebné baterie s dlouhou výdrží nebo akumulátor. Dále pro bezdrátovou komunikaci bude využita Wi-Fi nebo rádiový přenos. U výběru záleží, jaké funkce chceme. Musíme zvolit variantu s co nejnižší latencí. Následně využijeme pro programování scén mikročip. S takovým schématem dále pracujeme tak, že zjišťujeme potřebné úrovně napětí a odběr proudu, od kterých se budou odvíjet další potřebné součástky na převod logických úrovní apod.

V požadavcích na diplomovou práci je uvedeno připojení bezdrátových světel, Z toho vyplývá bateriové napájení s dlouhou výdrží a rádiový přenos dat pro jednotlivé trubice. Bylo zvoleno napájení cenově dostupnými akumulátory PARKSIDE, které jsou vyráběny s různou kapacitou – 2, 4 a 8 Ah. Tyto produkty jsou vzájemně zaměnitelné, tudíž je možné měnit je podle požadavků na délku provozu. Akumulátory jsou z řady X20V. Pro napájení zařízení je vyžadováno napětí 5 V, které je získáváno z napěťového měniče. Dobíjení těchto přístrojů je řešeno speciální nabíječkou určenou přímo pro tyto produkty PARKSIDE. Akumulátor má v sobě také třístupňovou indikaci nabití a kontrolu nabití pomocí rozhraní Bluetooth. Akumulátory ochranu proti podvybití defaultně nemají, jelikož je mají samotné přístroje, jako je vrtačka apod. Proto je potřeba doplnění o monitorování napětí, aby nedošlo k podvybití. To by totiž mohlo zapříčinit zničení akumulátoru. Řešení je zakomponováno na obrázku 5.6 na zdrojové desce.

Důležitou součástí práce je také vytvoření rozpočtu, aby to bylo ekonomicky co nejvíce výhodné. Komponenty se snažíme objednat z jednoho e-shopu, aby bylo levnější, potažmo žádné „dopravné“.

## 5.2.1 Teoretický výpočet proudových podmínek trubíc

- Přibližný vypočítaný odběr světelné trubice: 6 A
- Průměrná účinnost měniče: 70 %
- Poměr vstupního a výstupního napětí: 1:4

Tímto výpočtem můžu říci, že při stoprocentní účinnosti by byl odběr z akumulátoru poměr  $6:4 \doteq 1,25$  A.

Jelikož ale zvažujeme účinnost měniče nejhůře 70 %, počítáme s odběrem z 20V baterie:  $1,25/0,7 = 1,8$ A. Tento výpočet je ovšem pouze orientačního charakteru, sloužil pouze ke stanovení potřebných komponent z hlediska napájení. Při použití 2Ah baterie by tedy měla být rezerva na 2 hodiny provozu pokud uvažujeme po tuto dobu stálý odběr plným jasem a použití všech RGBW diod. Ve realu ale bude provoz mnohem úspornější, jelikož tato situace nebude nastávat v takové míře.

## 5.3 Konstrukční řešení

Diplomová práce se skládá ze dvou základních celků. Světelná trubice (až 6 ks) a řídicí jednotky, kterou zde nazýváme vysílač.

Návrh schémat pro osazení byl vytvořen v programu EasyEDA, 3D modelování probíhalo v programu TinkerCad a Onshape. Elektronika je umístěna na deskách s plošnými spoji, zkráceně DPS, neboť pro finální produkt nebyla prototypová deska již vhodná.

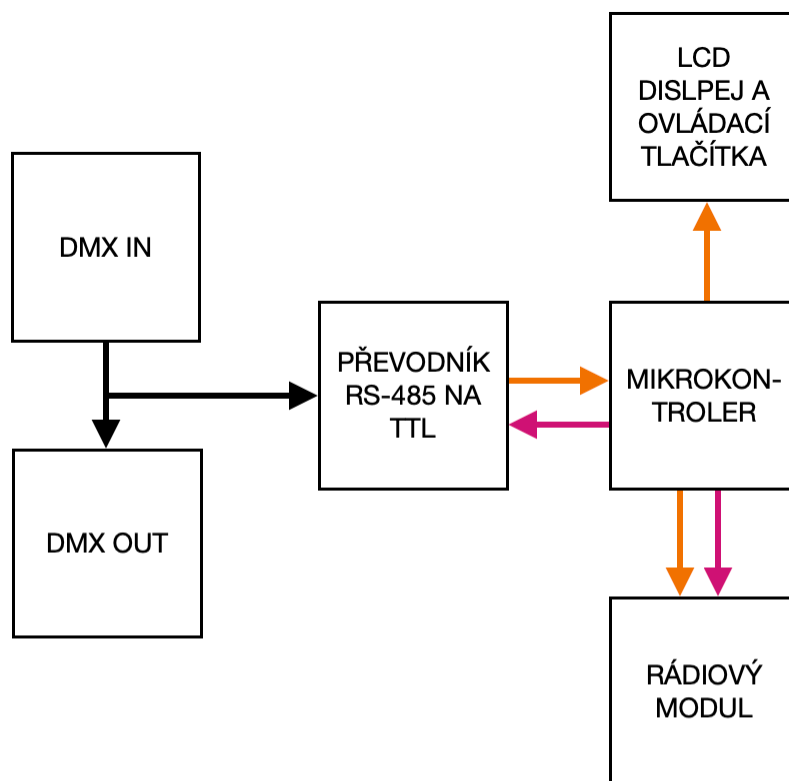
### 5.3.1 Vysílač

Vysílač slouží k dekódování protokolu DMX512 a rádiovému řízení jednotlivých světelných trubíc. Jelikož je fyzicky připojen pomocí kabelů na datovou síť, není zde vyžadováno akumulátorové napájení.

Mechanické uspořádání bylo zvoleno dostatečně robustní tak, aby bylo odolné vůči poškození při manipulaci.

Pouzdro vysílače obsahuje vstup a výstup DMX512. Oba jsou realizovány 3pinovými konektory XLR. Na vstup je kabelem přiveden signál ze zdroje dat DMX (převodník MIDI–DMX), na výstup můžeme připojit další zařízení využitě na pódiu (hazer, světla apod.) nebo terminátor. Terminátor slouží ke správnému zakončení, aby nedocházelo k odrazu signálu. Tento odraz by způsoboval rušení komunikace. Terminátor bývá realizován jako konektor se  $120\Omega$  rezistor mezi piny 2 a 3 na konektoru XLR (vodiče A+ a B-). Součástí vysílače je mikrokontroler, který slouží i pro napájení, a rádiový modul.

Návrh schéma je na obrázku 5.2. Vstupní signál DMX je přiveden na modul MAX RS485, který slouží jako převodník úrovní ze symetrické linky RS485 na signál TTL.



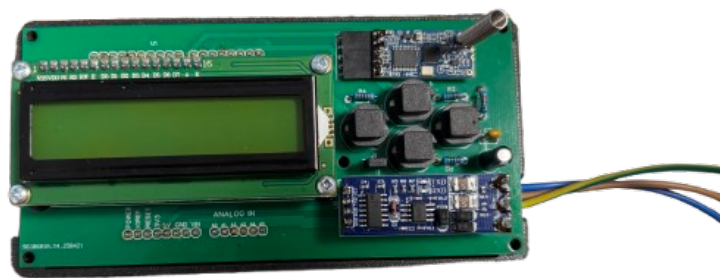
BARVA ŠIPKY	DRUH PROPOJENÍ
	DATA TTL
	5V NAPÁJENÍ
	DMX DATA

Obr. 5.2: Blokové schéma vysílače.

Protokol DMX je softwarová nastavba sériové linky RS485. Ovládání a nastavení vysílače se provádí pomocí 4 tlačítek a dvouřádkového LCD displeje. Schéma vysílače je na obrázku 5.3. Napájení tohoto vysílače je možné dvěma způsoby. První variantou je napájení pomocí USB 5V. Druhou možnou variantou je použití souosého konektoru, přes který je možné připojit jakýkoliv zdroj stejnosměrného napětí v rozsahu 6–15 V.



Platforma Arduino IDE byla zvolena zejména pro svoje všestranné použití a pro svůj široký rozsah napájecího napětí. Pro ovládání zařízení vysílače slouží 4 tlačítka. Rezistory R1-R4 jsou takzvané pullup rezistory. Zajišťují definovanou vysokou úroveň na vstupu mikrokontroleru v době, kdy není stisknuto tlačítko. Tím eliminují náhodné rušení. Zákmity tlačítek jsou kompenzovány softwarově, tudíž není potřeba použít blokovací kondenzátory.



Obr. 5.4: Osazená deska vysílače.

Osazená skutečná deska je pak na obrázku 5.4.

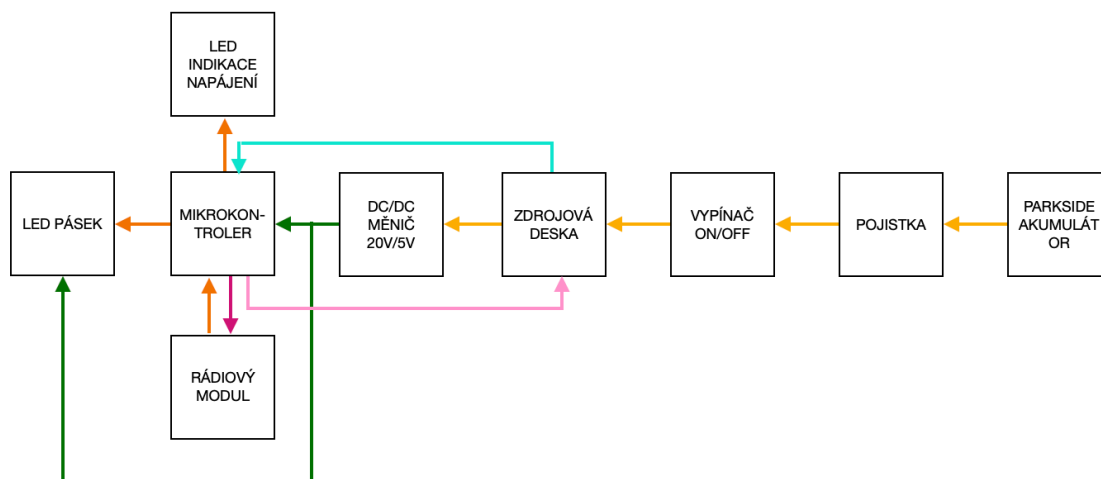
### 5.3.2 Přijímač

Elektronika přijímače je konstrukčně umístěna na dvou deskách, bateriové a procesorové. Přijímač je napájen z akumulátoru, který má 20 V. Přes pojistku postupuje napájecí napětí na hlavní vypínač. Přes zdrojovou desku dále na měnič napětí, jelikož vlastní zařízení vyžaduje napájení 5 V. Bateriová deska je spojena s deskou procesoru. Zajišťuje její napájení. Součástí zařízení je také LED dioda pro indikaci stavu akumulátoru. K procesorové desce je připojen LED RGBW pásek. Blokové schéma přijímače je na obrázku 5.5.

Vedlejším efektem použití výše zmíněného akumulátoru je získání stabilní základny pro světelnou trubici vzhledem k hmotnosti akumulátoru a jeho umístění ve spodní části zařízení, kde slouží zároveň jako podstavec. Vlastní trubice je vytvořena z hliníkového LED profilu. Je využit rohový profil z důvodu jak estetických, tak pevnostních, neboť mnou použitý profil je tříkomorový. Obsahuje prostor pro vlastní LED pásek obdélníkového tvaru a díky trojúhelníkovému profilu vznikají na okrajích profilu komory, které zvyšují pevnost a robustnost. Tím je zajištěna stabilita a odolnost vůči deformaci při případné přepravě trubic. Hliníkový profil současně bude sloužit jako chlazení LED pásku. LED pásek je použit RGBW LED pásek přilepený na celou délku hliníkového profilu.

Elektronika trubic je umístěna v pouzdře, které navazuje na adaptér baterie a slouží jako držák LED profilu. Pro eliminaci problémů se stabilitou je součástí pouzdra i uchycení pro demontovatelné nožky.

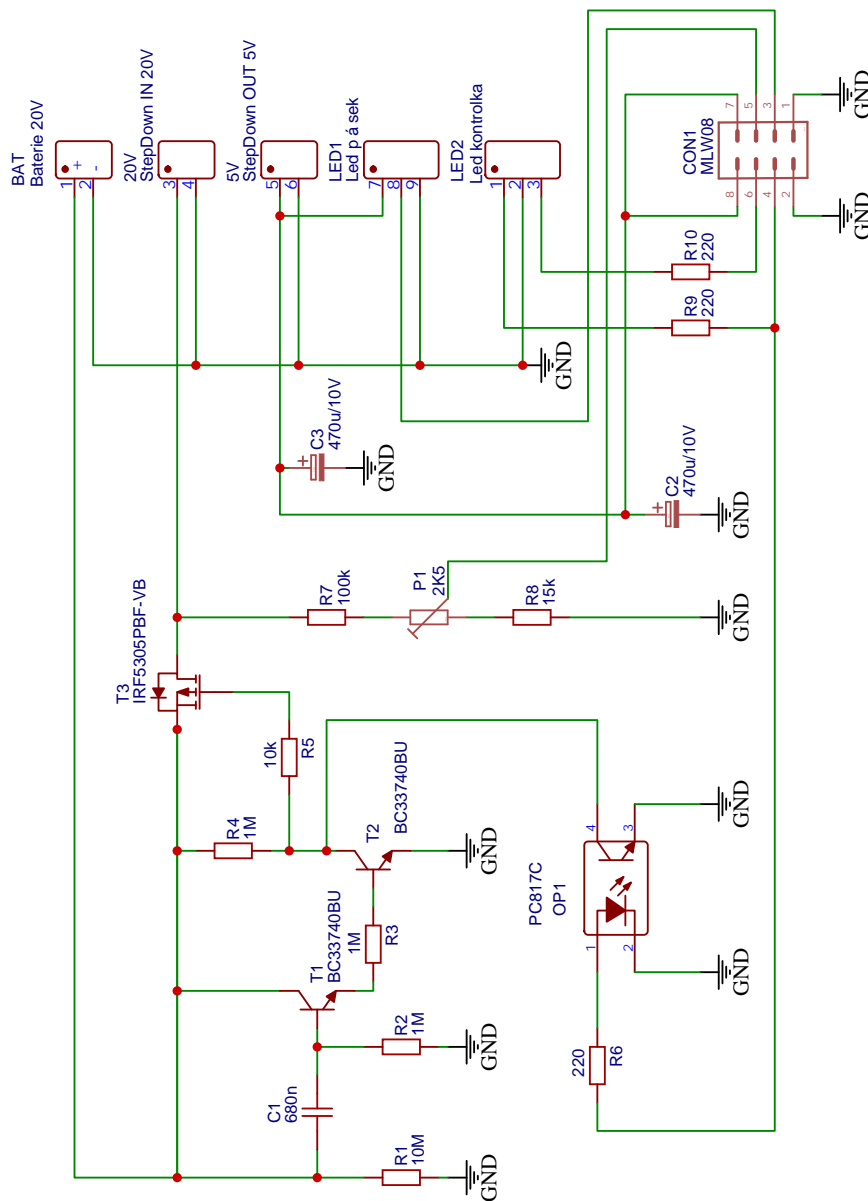
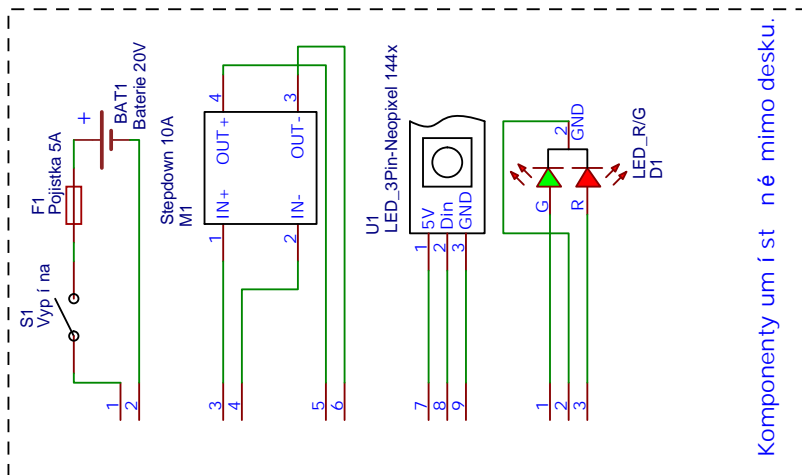
**Bateriová deska.** Napájecí modul je tvořen měničem stepdown, který převádí 20 V na 5 V, a spínacím obvodem, který zabezpečuje náběh systému po připojení napájení a jeho běh až do poklesu napětí baterie pod stanovenou mez. V mém případě byla zvolena mez 15 V. Tato mez byla zvolena na základě článku [13]. Po připojení napětí baterie vznikne na derivačním článku C1 R2 napěťová špička. Tento impuls proudově zesiluje emitorový sledovač tvořený tranzistorem T1 a následně jej tvaruje tranzistor T2. Tranzistor T2 se na dobu cca 2–3 vteřiny otevře, spojí GATE T3 přes rezistor R5 na zem. Tranzistor T3 se otevře a následně připojí napětí baterie na vstup DC/DC stepdown měniče. Tento impuls je dostačující pro náběh softwaru ESP8266, který v úvodních instrukcích nastavuje pin D8 na HIGH. Tento proces platí v případě úspěšného testování napětí baterie. Pinem D8 je ovládán optočlen OP1, který je svým fototranzistorem připojen paralelně k tranzistoru T2. Ten po uplynutí spínacího impulsu zajistí uzemnění GATE T3. Napájecí napětí do měniče je tak dále sepnuté a zařízení běží. Tento stav trvá až do doby, kdy mikrokontroler vyhodnotí nízké napětí na akumulátoru. V tomto okamžiku nastaví D8 na LOW, optočlen rozepne. Jelikož T2 je v té době již uzavřený (uplynul čas, který je definován derivačním článkem C1 a R2), stoupne na GATE T3 téměř na napětí



BARVA ŠÍPKY	DRUH PROPOJENÍ
Orange	3,3V DATA CMOS
Magenta	3,3V NAPÁJENÍ
Green	5V NAPÁJENÍ
Yellow	20V NAPÁJENÍ (nominální)
Cyan	Monitoring stavu akumulátoru
Pink	Nucené vypnutí při vybití akumulátoru

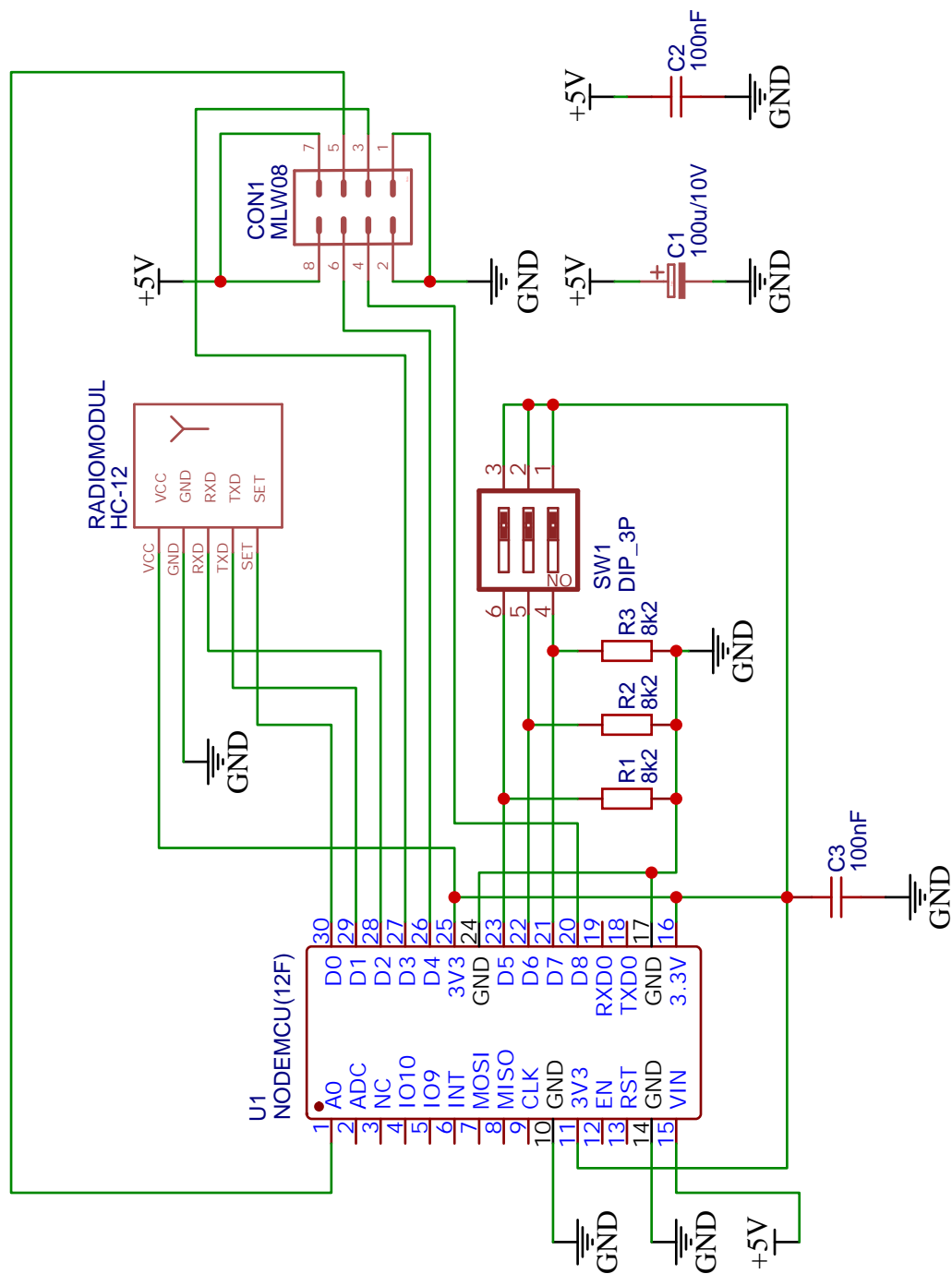
Obr. 5.5: Blokové schéma přijímače.

baterie. T3 se tím uzavírá a odpojuje měnič od baterie. Následného zapnutí zařízení lze dosáhnout pouze odpojením a novým připojením baterie, nebo vypnutím a zapnutím vypínače S1, kdy se celá sekvence opakuje. Při vybité baterii je však D8 na úrovni LOW a po uplynutí 3 vteřin se zařízení vypíná. Nemůže tak dojít k podvybití akumulátoru a jeho následnému poškození. Pinem D8 je také rozsvěčován zelený čip dvojbarevné LED, která tím indikuje napětí baterie v definovaných pracovních mezích. Napěťový dělič R7, P1 a R8 je navržen tak, aby při napětí baterie 22 V odpovídalo napětí 3 V na jeho výstupu (pin A0 ESP8266) a nebyly tak překročeny mezní hodnoty mikrokontroleru (AD převodník vrací hodnotu 1024 při 3,3 V) Zapojení vidíme na obrázku 5.6.



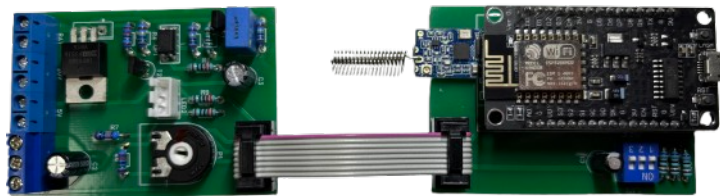
Obr. 5.6: Schéma zapojení na zdrojové desce.

**Procesorová deska** má schéma zapojení na obrázku 5.7. Je využíván modul ESP8266 napájený ze zdroje 5 V. Logika procesoru je třívoltová. To je nutné zohlednit při připojení periférií tak, aby nedošlo k poškození vstupních obvodů. Třívoltovým výstupem je možné ovládat zařízení TTL, neboť úrovně logické 1 se částečně překrývají. Při použití jako vstup je však nutné konvertovat úroveň TTL na CMOS – buď napětovým děličem, anebo speciálním konvertorem úrovní TTL/CMOS 5 V/3,3 V. Datové piny D5, D6, D7 jsou využity pro čtení adresy přijímače nastavenou na přepínači DIP. Pin D7 má hodnotu  $2^0$ , D6  $2^1$ , D5  $2^2$ . Celkový počet možných adres je tedy ve stávajícím zapojení 8 (včetně 0). Rezistory R1, R2, R3 zapojené proti zemi mají funkci pull-down. Pin D8 slouží ke komunikaci s deskou zdroje a zabezpečuje vypnutí zařízení při poklesu napětí akumulátoru pod stanovenou mez. (V tomto případě 15 V). Zároveň při běhu programu rozsvěcuje zelenou část dvoubarevné LED diody. Pin D4 rozsvěcuje při mírném poklesu napětí baterie červenou část diody D1 – tím LED signalizuje oranžovou barvou blížící se mez vybití a následné odpojení akumulátoru. Piny D1 a D2 jsou komunikační (RX/TX) pro sériovou linku mezi ESP8266 a rádiovým modulem HC-12. D0 je připojen k pinu SET na rádiovém modulu a slouží k nastavování modulu HC-12 pomocí AT příkazů. V současné verzi softwaru byl využit pouze jednorázově pro nastavení Baud rate. Pin D3 je výstup sekvencí příkazů pro LED pásek.



Obr. 5.7: Schéma zapojení procesorové desky.

Na obrázku 5.8 vidíme kompletně osazené desky přijímače, které se nachází uvnitř trubice.



Obr. 5.8: Osazený přijímač.

Konektor CON1 je propojovací mezi zdrojovou a procesorovou deskou. Jeho piny jsou zapojeny následovně:

- 1,2 – GND
- 3 – DATA pro LED pásek
- 4 – dvojbarevná LED (zelená)
- 5 – kontrola stavu akumulátoru
- 6 – dvojbarevná LED (červená)
- 7,8 – +5V

. Z důvodu proudové zatížitelnosti je zdvojena zem a napájení. Jedná se tedy o osmižilový propojovací kabel.

## 5.4 Použitý LED pásek

Jako zdroj světla je použit RGBW LED pásek SK6812. Ten pro svou činnost vyžaduje napájení 5 V a také datový signál, kde jas každé LED diody je určen 8bitovým číslem. Cyklus začíná náběžnou hranou datového impulsu a končí další náběžnou hranou. V závislosti na šířce logické 1 a 0 vyhodnotí bitovou hodnotu dat. Pokud je 1 širší než 0, nastává logická 1. Pokud nastane mezera v přijímaných datech, bude následovat nová sekvence. Pásek zůstává nastaven do doby, než obdrží nová data. Vzhledem k tomu, že použitý pásek obsahuje 4 LED čipy, R, G, B, W, je pro určení jasu čipu potřebných 24 bitů. Těchto čipů je v mém zařízení použito 144 v každé trubici. LED pásek se chová tak, že první čip vyhodnotí úvodních 24 bitů dat, rozsvítí RGBW LED a zbytek dat pošle přes výstup na další čip. Tento proces se opakuje až do posledního modulu.

Odběr jedné LED diody je cca 10 mA. Jednoduchým výpočtem poté dokážeme zjistit proudovou zátěž. Násobením počtu led diod, tzn. 144, krát 4 (RGBW), krát odběr jedné LED diody (10 mA) se v našem případě rovná 5,76 A.

Abychom měli proudovou rezervu, byl zvolen výkonnější 10 A stepdown měnič, který se z důvodu rozměrů a také možnosti snadného chlazení nachází na zadní straně podstavce zvnějšku. Tento měnič 10 A DC/DC 5 V poskytuje dostatečnou rezervu ve výkonu a zároveň se minimálně zahřívá. Proto se jeví jako ideální volba. Funkcí stepdown měniče, jak už bylo zmíněno výše, je snížení napětí z původních 20 V na požadovaných 5 V. Toho je dosaženo spínáním vstupního napětí s vysokou frekvencí, následně jsou tyto proudové impulzy transformovány a poté usměrněny a vyhlazeny. S trochou nadsázky lze tedy říci, že DC/DC měnič je v podstatě „stejnoseměrný transformátor“.

Analogový vstup A0 je využit pro monitorování napětí akumulátoru. C1 je filtrační kondenzátor, který slouží k eliminaci napěťových špiček na napájení LED pásku a procesoru. Součástí procesorové desky je DIP switch SW1 pro jednotné adresování jednotlivých trubic. C2 je keramický kondenzátor, který eliminuje *vf* rušení v napájení.

Pásek v prototypu obsahoval 30 LED diod na 1 m pásku. Do finální podoby to ale není dostačující ze strany požadavků kapely, a proto je zvolena varianta LED pásku s hustotou 96 LED na 1 m. Svítivost není výrobcem uvedena. LED pásek se třiceti diodami má spotřebu 9 W na metr, nově zvolený až 30 W na metr, což musím vzít v úvahu při výběru akumulátoru. [12]

## 5.5 ESP8266 a Arduino

V **přijímačích** je využit mikrokontrolér *ESP8266*, který byl vybrán zejména pro svůj vysoký výkon a velkou paměť. Obsahuje také Wi-Fi modul, který může být v budoucnu použit pro ovládání trubíc pomocí mobilní aplikace. Je cenově dostupný, kompaktní a má nízkou spotřebu energie. Tato vlastnost je důležitá při bateriovém napájení trubíc.

Z důvodu využití DMX knihovny, kterou vyžadujeme pro příjem DMX zpráv, použijeme ve **vysílači** mikrokontrolér *Arduino Uno*. Ačkoliv je pouzdro vysílače rozměrnější, i z důvodu použití XLR konektorů, není nutná kompaktnost. Tento kontrolér má nižší výkon než *ESP8266*, ale pro mé účely je dostačující. Napájení je řešeno přes USB nebo souosým konektorem.

Pokud bych měla srovnat rychlost kompilování a načtení kódu do obou mikrokontrolerů, jednoznačně je rychlejší právě *Arduino Uno*. Pro přijímače, resp. trubice zachováme původně uvažované *ESP8266*, jelikož je výkonnější a rychlejší pro odbavení příchozích dat, což se v mém projektu velmi hodí.

## 5.6 Výroba desek

Výroba veškerých desek, které jsou v mé práci využity, byla zajištěna firmou *JLCPCB* v Číně. Doba dodání je cca 10 dní. Výhodou je rychlá výroba několika kusů za nízkou cenu. Podklady pro výrobu byly dodány ve formátu *GERBER*. Ten je vygenerovaný z návrhového systému, konkrétně EasyEDA.

Kvalita desek je více než uspokojivá. Součástí těchto služeb je také kontrola spojů, zda je vše v souladu s normami. Věcná správnost návrhu je na kupujícím. Byly použity dvouvrstvé desky standardních parametrů s prokovenými otvory. Pro obvody se zvýšenou proudovou zátěží byly v návrhu zvoleny širší spoje – až 3,5 mm.

Pokud bychom to srovnali s výrobou v České republice, cena desek by byla až desetinásobná.



## 6 Rozpočet

V této kapitole se nachází tabulky s rozpočtem celého produktu jak ve fázi prototypu, tak celkového produktu, všech 6 trubic.

### 6.1 Orientační rozpočet použitých komponent

V tabulce 6.1 vidíme základní soupis komponent, potřebných pro vytvoření prototypu.

Ve fázi přemýšlení byla varianta s nabíjecími bateriemi 18650, které by byly nabíjeny modulem s konektorem microUSB. Tato možnost by byla ovšem méně efektivní, časově náročná a finančně nevýhodná.

Mikrokontroler, který řídí a ovládá povely trubicím, byl vybrán ESP8266. Ten pracuje také na napětí 5 V. Umožňuje navíc komunikaci přes Wi-Fi. Tu ale v našem případě neuvažujeme. Jedná se o výkonný čip s microUSB konektorem, díky kterému můžeme scény a komunikaci naprogramovat v softwaru *Arduino IDE*.

Rádiový modul je HC-12 SI4463, který komunikuje v rozmezí 433,4 – 473 MHz, bude připojen přímo k mikročipu na odpovídající piny. Komunikační frekvence jsou určené Českým telekomunikačním úřadem. Ten udává, jaké frekvence jsou vhodné pro použití. V běžném životě se nimi setkáme v bezdrátové komunikaci, například dálkového ovládání, termostatů, klimatizace nebo bytových senzorů. Konkrétní vybraný modul dokáže komunikovat na vzdálenost až 1000 m, což je pro moje zadání dostačující.

Použitý materiál	Množství	Cena za ks [Kč]	Celková cena [Kč]
ESP8266	6	89	534
HC-12 radiový modul	4	196	784
Stepdown nastavitelný měnič	1	39	39
Led dioda žlutá	7	2	14
Kolébkový vypínač	6	4	24
Převodník MAX485	1	39	39
XLR	2	50	100
Spínač MOSFET	1	36	36
LED pásek	1	306	306
Rohový LED profil s difuzorem	1	110	110
CENA CELKEM			1986

Tab. 6.1: Orientační rozpočet komponent prototypu.

## 6.2 Finální rozpočet produktu

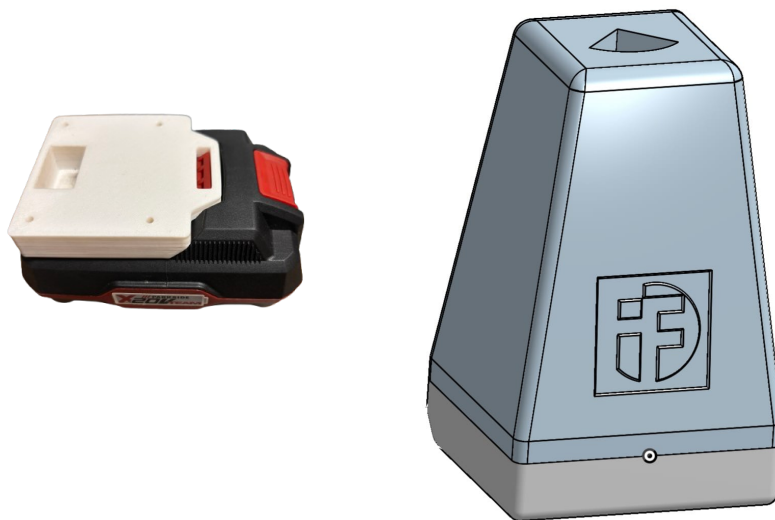
Zde, 6.2, se nachází veškeré použité komponenty, které bylo nutné zakoupit jak pro testování tak zejména pro finální produkty, aby bylo možné všechny trubice realizovat.

Použitý materiál	Množství	Cena za ks	Celková cena	Doprava
ESP8266	4	89	356	0
ESP8266	2	99	198	0
HC-12 radiový modul	2	196	392	0
HC-12 radiový modul	5	196	980	0
Stepdown nastavitelný měnič	1	39	39	0
Led dioda žlutá	7	2	14	0
Kolébkový vypínač	6	4	24	0
Převodník MAX485	1	39	39	57
XLR	2	45	90	0
Spínač MOSFET	1	36	36	23
Arduino UNO	1	295	295	0
MAX485	1	39	39	0
Stepdown nastavitelný měnič	1	106	106	0
DIP switch 10ks balíček	1	50	50	0
LED profil s koncovkou a difuzorem			1222	150
DC DC konverter	6	165	990	0
breadboard	1	70	70	0
propojovací kabely DUPONT	4	57	228	0
breadboard	1	200	200	0
filamenty pro 3D tisk	2	699	1398	55
led pásek 30 diod/m	1	237	237	69
led profil	1	130	130	0
potenciometry	5	13	65	0
tisk desek	2	350	700	0
silikonové propojovací drátky	1	110	110	0
tisk desky pro vysílač	1	250	250	0
tlačítka do vysílače	4	13	52	0
displej	1	125	125	0
kondeznátory	10	10	100	0
	součet	11839		

Tab. 6.2: Rozpočet použitých komponent s cenami a množstvím pro finální podobu.

## 6.3 Využití 3D tisku

K vytvoření mechanických částí byl použit 3D tisk. Pro 3D modelaci byl z počátku použit program TinkerCAD, vzhledem k jeho jednoduchosti a webovému rozhraní, které tak nevyžaduje instalaci programu. Brzy jsem však narazila na jeho limity. Vadila mi modelace objektů pouze prostřednictvím kombinací tvarů. Vytváření složitějších tvarů je zde více komplikovaná, proto jsem pro pozdější činnost zvolila program Onshape. Onshape je parametrický modelář. To znamená, že je zde možnost vracet se a upravovat předchozí kroky, aniž by byla narušena posloupnost návrhu. Onshape také nepracuje s předem definovanými tvary, ale modeluje se pomocí systému *skica* a operacemi nad ní. To, že je systém parametrickým modelářem, jsem ocenila zejména v okamžiku, kdy bylo nutné měnit rozměry a tvar mechanických částí. První návrh vidíme na obrázku 6.1. Konkrétně bylo nutné vymodelovat nástavec na PARKSIDE akumulátor, který je následně s konektory připojen místo běžného nářadí. Jako základ byl použit *stl* soubor, který je ke stažení volně z internetu, odkaz zde [14]. Později se ukázalo, že jej bude nutné zásadně upravit, a protože se soubor *stl* upravuje obtížně, použila jsem jej jako předlohu pro vlastní adaptér vymodelovaný v systému *Onshape*. Aby byl podstavec originální a nezaměnitelný, zvolíme logo kapely *Free fall* na každý ze stojánků. Na adaptéru baterie, obrázek vlevo 6.1, je uchycen kryt elektroniky a následně i profil s LED páskem.



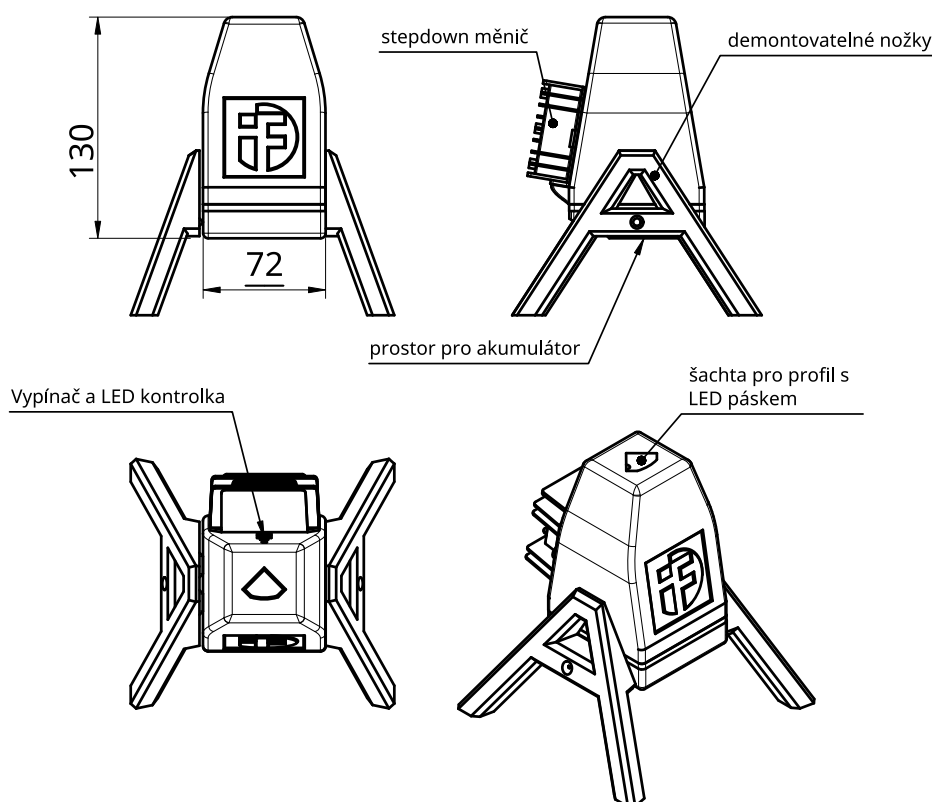
Obr. 6.1: 3D tisk.

Ve verzi diplomové práce je nástavec i podstavec v černé barvě a má v sobě mít otvory pro uchycení nožiček. Zároveň je v tomto dílu umístěna přístrojová pojistka

5A. Umístění pojistky je zvoleno co nejbližší kontaktům baterie. To je nezbytné z důvodu ochrany zařízení při náhodné poruše nebo zkratu na přívodních vodičích. Akumulátor je schopen dodávat vysoké zkratové proudy (v řádu desítek ampér) a tím by mohlo dojít i k požáru zařízení. Využita je cuprexitová destička pro umístění pojistky a propojení s kontakty baterie. Ty jsou vyrobeny z mosazného plechu tloušťky 1,2 mm a vychází z rozměrů kontaktů na nářadí PARKSIDE.

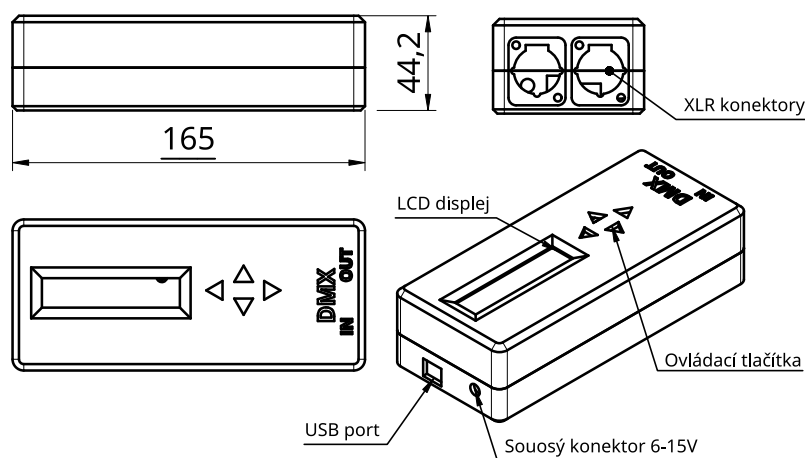
Kryt zařízení má tvar mírně zaobleného komolého jehlanu. Ve vrchní části je šachta ve tvaru LED profilu pro jeho umístění. Uvnitř stojanu se nachází dvě desky s plošnými spoji s veškerou elektronikou o rozměru 50x70 mm. Jedna deska mikrokontroler a druhá pro pomocné napájecí obvody. K této desce jsou též připojeny veškeré externí komponenty jako například stepdown měnič nebo přívod LED pásku.

Jak kompletní podstavec vypadá můžeme vidět na výkresu 6.2. Jedná se o výkres pro tisknutelné komponenty. Je zde zahrnut pohled z několika stran pro jednoduché představení a součástí obrázku jsou také rozměry. Nožky jsou zamýšleny z důvodu stability a jsou snadno demontovatelné pro úsporu místa při transportu. Upevnění nožiček je zajištěno pomocí jednoho šroubu M4 a dvěma výstupky proti otáčení.



Obr. 6.2: Výrobní výkres pro tisknutelné komponenty podstavce.

Pro pouzdro vysílače bylo využito také 3D tisku. Pouzdro má v sobě otvory na LCD displej a tlačítka pro ovládání. Nákres je na obrázku 6.3.



Obr. 6.3: Výrobní výkres pro tisknutelné díry vysílače.

Výroba byla zajištěna na 3D tiskárně, která je používána v domácím prostředí za běžných podmínek. Pro potřebu 3D tisku existuje poměrně široké spektrum materiálů. Každý materiál má své výhody, ale i úskalí, jako např. obtížnost tisku vzhledem k vysokým teplotám apod. Nejběžnější materiál používaný pro 3D tisk je PLA. Pro mé potřeby byl ale nepoužitelný, neboť ztrácí pevnost již při cca 60 °C. Vzhledem k tomu, že zařízení bude používáno v letních, teplejších měsících a převáženo ve vozidle, bylo na místě zvolit materiál s vyšší teplotní odolností. Jako nejvhodnější se ukázal materiál ASA, který je svými vlastnostmi podobný materiálu ABS. Vyznačuje se zvýšenou teplotní odolností až 100 °C, pružností, houževnatostí a v neposlední řadě je materiál také UV odolný. Jeho nevýhodou je však problematictější tisk. Během něj dochází ke kroucení výtisku na podložce tiskárny kvůli vysoké teplotní roztažnosti tohoto materiálu. Z velké části lze tyto projevy eliminovat zakrytím tiskárny do boxu, který udržuje stabilní teplotu uvnitř během tisku. Po vytištění díl vychladne jako celek a tudíž nedojde k nežádoucím deformacím. Informace o materiálech převzaty z [15] [16].

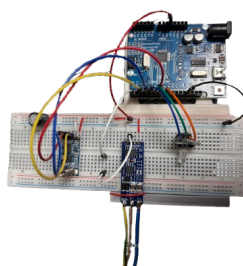


## 7 Testování

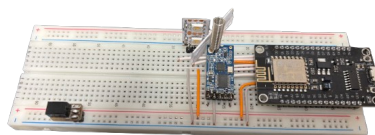
Během realizace testování probíhalo ve dvou fázích. První fáze byla vytvoření prototypu. Během této fáze jsem testovala komunikační vzdálenost, nastavovala jednotlivé scény bez pomoci DMX512 protokolu a také jsem ladila nedostatky, které se projevily chybným zobrazením na LED pásku.

### 7.1 Fáze prototypu

Pro realizaci prototypu byl využit vysílač a jeden přijímač. Pro propojení jednotlivých komponentů bylo využito nepájivého pole a *Dupont* propojovací vodiče, které umožnily jednoduché odpojení a experimenty. Nedochozí tak k letování součástek napevno a je možná následná manipulace při rozmisťování součástek. Na začátku byl použit také externí zdroj napájení, bateriové řešení bude až poslední část práce. Zapojení na nepájivém poli vidíme na obrázcích 7.1 a 7.2.

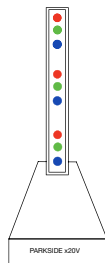


Obr. 7.1: Prototyp vysílače.



Obr. 7.2: Prototyp přijímače.

K přijímači i vysílači je připojen rádiový modul, přijímač je obohacen LED páskem. V programu *Arduino IDE* byla vytvořena jednoduchá scéna, která byla vyslána vysílačem do přijímače bezdrátově díky rádiovému přenosu. Tím jsem ověřila funkčnost a spolehlivost komunikace. Důraz byl kladen zejména na zpoždění, ten se v této části programování nepotvrdil. LED pásek byl v další fázi nalepen na 1m rohový LED profil s chlazením a profil byl zasazen do vyrobeného podstavce, obsahující komunikační část. Během procesu zapojení jednotlivých komponent byly dodržovány určité zásady jako je správné napájecí napětí LED pásku a ESP8266. Využila jsem také tzv. datasheetů jednotlivých součástí pro správné propojení pinů. Obrázek reálného prototypu zde není uveden z důvodu špatné viditelnosti rozsvícených LED diod. Na obrázku 7.3 je ale náčrt prototypu.



Obr. 7.3: Navržený prototyp.

## 7.2 Úskalí při realizaci

Existuje několik úskalí, které se mohou během realizace prototypu objevit. Může to být nefunkční ochrana proti zničení baterie, malá hustota LED diod na pásku, která může zkazit výsledný efekt, pokud budou prosvítat tmavá místa. Dále třeba nestabilita stojánku, špatná bezdrátová komunikace nebo vysoká latence.

### 7.2.1 Řešení úskalí

Abychom se těmito nepříznivým a nežádoucím jevům vyhnuli a zamezili jim, musíme dbát na několik zásad během realizace prototypu. Hustotu LED diod na pásku neověříme jinak, než prakticky – pohledem na pásek za světla a za tmy, posouzením rozdílů tmavých a osvětlených míst. Pokud bychom ale uvažovali četnější řazení LED diod na stejné délce, nesmíme zapomenout vzít v úvahu výkon společně se spotřebou. Snížení spotřeby se dá provést snížením maximálního jasu bílé barvy. Tato barva

spotřebovává nejvíce, a proto není vhodné ji nadměrně využívat. Naopak je vhodné využít dynamických efektů, ve kterých nemusí současně blikat všechny diody, ale jen některé.

Kvůli nízké hmotnosti nebo malé ploše podstavce může být LED profil nestabilní. Řešením je zvýšení hmotnosti, přidání nějakého závaží na spodní část, nebo zvětšení plochy základny. To ale nezjistíme jinak, než otestováním v praxi.

Bezdrátová komunikace bude výrazně jednodušší při využití pouze jednoho přijímače s vysílačem. Nebude nutné adresovat scény jednotlivým trubícím, prototyp bude přijímat všechny zprávy a povely, které se z vysílače odešlou.

Prototyp byl testovaný na jednoduchých scénách – efekt přeběhnutí duhy, dále plný jas na všech diodách s jednou barvou, kterou jsem měnila, efekt změny jasu, tzv. probliknutí nebo jiskření některých z diod. Tím, že můžeme nastavit rychlosti efektů, zkoumáme tak, zda LED pásek stíhá veškeré povely nebo zde dochází k latenci a vynechání nějakých z efektů.

Při zkoušení veškerých LED pásků – což odpovídá cca 870 LED diodám – bylo zjištěno, že některé diody nepodporovaly složku  $W$ , byly vadné. Bylo proto nutné tyto LED diody nahradit za diody plně funkční.

## 7.3 Výsledky testování

Výsledný prototyp byl testován na základních povelích a efektech. V tomto kroku byl potvrzen požadavek minimálního zpoždění. Ukázalo se, že při dynamických efektech (běžící světelný bod, strobo apod.) je nutné optimalizovat kód za využití časovačů, aby bylo zajištěno současně i vyhodnocování přicházejících nových povelů z rádiového modulu. Mechanicky byl zprovozněn akumulátor Parkside s ochranou baterie proti podvybití, vytvořen protikus na připevnění podstavce stojanu LED profilu a vytvořen prototyp stojánku. Tím se ověřila jeho stabilita a robustnost. U LED pásku došlo k přehodnocení hustoty LED diod, jelikož byla vidět tmavá, neosvícená místa a to by během vystoupení nedělalo dobrý dojem. Pro diplomovou práci tak bylo následně uvažováno 96 diod na 1 m pásku. Tím se ale sníží výdrž baterie. Toto zvýšení se může projevit vyššími nároky na obsluhu samotného procesoru, jelikož procesor musí obsloužit více světelných bodů za stejný čas.

## 7.4 Změny po testovací fázi

Po testovací fázi jsem dospěla k závěru, že je nutné některé mechanické části změnit. Konkrétně se potvrdila nedostatečnost hustoty LED diod na 1 m pásku.

Pro finální výrobek bylo využito 96 LED/m. Délka samotného LED profilu byla prodloužena na 150 cm.

Změna se týká současně typu lišty pro LED diody. Využita je nově lišta s pevnější konstrukcí, u které nedojde ke zlomení nebo případnému zohýbání. Difuzor je mléčný a z větší vzdálenosti nedochází k prosvítání míst jednotlivých LED diod.

Vzhledem ke zvýšení počtu LED v trubici bylo nutné použít výkonnější stepdown měnič. Došlo k úpravě samotného tvaru a velikosti podstavce z důvodu umístění veškerých komponent dovnitř podstavce vyhovujícím způsobem.

Změny v softwaru jsou pouze vylepšení aktuální verze a přidání veškerých požadovaných barev a efektů. Důraz byl kladen na funkčnost a rychlost odesílání paketů z vysílače do LED trubice. Dále bylo doprogramováno ovládaní trubice, které bylo realizováno za pomoci tlačítek a LCD displeje.



Obr. 7.4: Srovnání podstavců.



Obr. 7.5: Srovnání trubic.



## 8 Software Arduino

Pro programování ESP8266 a rádiových modulů byl využit software *Arduino IDE*. Jedná se o open source prostředí. Zdrojové kódy jsou tak k dispozici mezi uživateli. V tomto prostředí byl kód napsán a zároveň nahrán do mikrokontrolerů pomocí USB kabelu.

### 8.1 Implementace knihoven

Jelikož pro většinu činností a obsluhu zařízení existují již vytvořené volně dostupné knihovny, bylo na místě je využít. Tyto knihovny velmi zjednodušují psaní kódu a některé funkce tak není potřeba psát ručně a zdlouhavě. Klíčovými knihovnamí pro využití jsou *Arduino*, *SoftwareSerial* a *NeoPixel*. *Arduino* zařídí správné nastavení mikročipu, *SoftwareSerial* zajišťuje nastavení bezdrátové rádiové komunikace a poslední knihovnou je *NeoPixel*, která slouží ke zpracování a odesílání datových sekvencí na LED pásek.

### 8.2 Kód vysílače v testovací fázi

Kód pro vysílač obsahuje informaci o konkrétním připojení pinů rádiové komunikace, dále ve funkci *setup* inicializaci tohoto typu přenosu s nastavenou rychlostí v jednotkách baud. Tato jednotka značí počet změn signálu za jednu sekundu. Čím vyšší rychlost, tím náročnější na procesor.

Výpis 8.1: Ukázka komunikace pomocí sériového portu, vysílač.

```
1 // VYSÍLAČ jednoduchá komunikace
2
3 #include <Arduino.h>
4 #include <SoftwareSerial.h>
5 SoftwareSerial HC12(5, 4); // RX, TX
6 void setup() {
7     HC12.begin(9600); // Inicializace HC-12
8     Serial.begin(9600); // Debug sériového monitoru
9     Serial.println("Aktivní vysílač");} // Vypsání zprávy
10 void loop() {
11     HC12.println("Odeslán efekt"); // Zpráva pro HC-12
12     Serial.println("Efekt odeslán"); // Vypsání zprávy
13     delay(1000); } // Počkej 1s
```

Jak vidíme na ukázce 8.1, dále je zde funkce, pomocí které vyšleme zprávu do sériového monitoru a můžeme tak číst, zda se zpráva z vysílače odeslala a chybu tak například hledat v jiné části zařízení.



## 8.3 Kód přijímače v testovací části

Výpis 8.2: Ukázka kódu pomocí sériového portu, přijímač.

```
1 //PŘIJÍMAČ jednoduchá komunikace
2
3 #define PIN_LED 2 //připojení pásku
4 #define NUM_LEDS 30 //počet diod - 30 led diod
5 SoftwareSerial HC12 = SoftwareSerial(4, 5); // RX, TX
6 Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(NUM_LEDS, PIN_LED
7     , NEO_GRBW + NEO_KHZ800);
8
9 void barva(); //deklarace funkce barva
10 void setup() {
11     pinMode(5, INPUT);
12     pinMode(4, OUTPUT);
13     HC12.begin(9600);
14     Serial.begin(9600);
15     Serial.println("Aktivní přijímač"); //aktivní přijímač
16     strip.begin(); //nastavení outputu
17     strip.show();} //nastavení aktuální scény = žádná = vypnou
18     se led
19
20 void loop() {
21     if (HC12.available()) { //pokud je radio aktivní
22         String command = HC12.readStringUntil('\n'); //čti data
23         jako textový řetězec než dojdeš na nový řádek
24         command.trim(); // Odstranění bílých znaků
25         Serial.println("Přijatý příkaz: " + command); //vypiš ...
26         if (command == "Odeslán efekt") { //pokud se shoduje s "
27             Odeslán efekt", spusť efekt
28             barva();}}
29
30 void barva() { //jak vypadá efekt
31     Serial.println("OVĚŘENO, spouštím efekt");
32     uint32_t color = strip.Color(255, 255, 0, 0); //nastavení
33     barvy
34     for (int i = 0; i < NUM_LEDS; i++) { //pro všechny led
35         strip.setPixelColor(i, color); } //nastavení barvy pro kaž
36         dý pixel
37
38     strip.show(); //provede nastavení barev
39     Serial.println("Efekt dokončen.");}
```

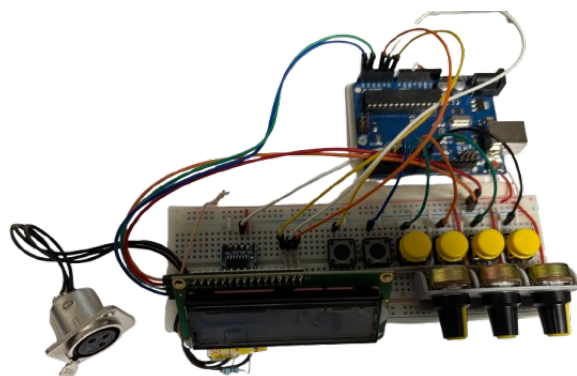
Kód pro přijímač, tedy pro trubici, musí obsahovat definici LED pásku, tudíž kolik LED diod se v trubici nachází, na který pin je na mikrokontroléru pásek připojen, zda se jedná o RGB nebo RGBW pásek a jaká je rychlost přenosu dat. Dále obsahuje informaci o pinech, na které je opět připojen rádiový modul HC-12. V další části kódu již nastavujeme rádiový přenos – rychlost přenosu. Pro ověření odešleme zprávu ve tvaru „Aktivní přijímač“. Na výpisu kódu 8.2 vidíme ukázkou kódu, který, mimo jiné vypisuje zprávy. Pokud rádia mezi sebou fungují správně, měl by Sériový monitor vypisovat zprávy „Aktivní vysílač“ a „Aktivní přijímač“. Pokud jsou nastavené další zprávy, je možné je taktéž zobrazit. Abychom ověřili funkčnost LED pásku, přidáme zprávu „Efekt odeslán“ a „Efekt dokončen“. Tak ověříme, zda rádiová komunikace funguje správně a zda LED pásek provede předpokládané efekty. Pokud připojíme další rádiový modul, můžeme ověřit, že vyslaná zpráva je určena právě konkrétní trubici.

## 8.4 Zpracování DMX ve vysílací části

Finální kód pro vysílač vychází z příchozích DMX zpráv. To funguje spolehlivě s mikročipem *Arduino UNO*. Z tohoto důvodu došlo k výměně z původního *ESP8266*. Důvodem byla nedostatečná dokumentace knihovny pro zpracování DMX zpráv, které je pro moji diplomovou práci zásadní, ačkoliv proběhlo důkladné vyhledávání DMX knihovny právě pro původní *ESP8266*.

Pro ověření funkce protokolu DMX a jeho zpracování ve vysílači jsem si sestavila vlastní DMX controller za pomoci volně dostupných informací a návodů z internetu. Kód byl ale upraven pro vlastní potřeby a požadavky. Tento prototyp, který je na obrázku 8.1, slouží pro ovládání 18 kanálů, kterým můžeme separátně nastavovat hodnoty 0–254 pomocí potenciometrů. Prototyp obsahuje LCD displej, na kterém je možné zobrazovat nastavení hodnot na všech kanálech. Napájen je pomocí USB. Výstupní DMX signál je převeden převodníkem TTL na linku RS485. Pomocí tohoto kontroléru dokáží s jistotou ověřit, že vysílač přijímá povely DMX a následně je správně odesílá trubici. [17]

V další fázi bylo zprovozněno více přijímačů. To vedlo k prodloužení datagramu a tím vznikly obavy, zda se toto prodloužení dat neprojeví na zpoždění. Odesílání dat více přijímačům znamená, že jsem odesílala pakety více přijímačům v jeden čas. Latence se ale nepotvrdila.



Obr. 8.1: Testovací DMX controller.

## 8.5 Testování více přijímačů

Kódy 8.1 a 8.2, tedy jak pro vysílač, tak pro přijímač byly využity pro semestrální práci. Během testování v diplomové práci došlo ke změně rychlosti pro rádiový přenos. Jelikož je nutné zajištění co nejnižšího zpoždění během přenosu paketů z vysílače do trubice, bylo nutné změnit baud rychlost z hodnoty 9600 na 38400 bitů za sekundu. Testováním různých rychlostí byla vybrána tato varianta, při které je latence v řádech nižších desítek milisekund. Zároveň ale mikrokontrolér dokáže zpracovat a obsloužit všechny trubice bez větších potíží.

## 8.6 Selekcce dat každé trubici

Další fáze bylo vyzkoušení posílání zpráv pro každou trubici individuálně. Tím jsem dokázala zjistit, že trubice dokáží pracovat i s různými informacemi a DMX hodnotami, které se liší pro každou z trubice.

## 8.7 Přidání více DMX kanálů

Jelikož je kapelou požadováno použití více DMX kanálů, konkrétně samostatné kanály pro barvu, jas, efekt, tempo a případně ještě další, bylo nutné tuto funkčnost ověřit během testování postupně, a odchytit tak případné nedostatky, které se mohou objevit. Během fáze testování mohu potvrdit bezproblémovou funkčnost kanálu

barvy, jasů. Pro barvu byla vytvořena bitová maska, kde místo 255 hodnot bylo využito 64 hodnot – tudíž jedna barva odpovídá čtyřem DMX hodnotám. Pro jas bylo nastaveno takových poměrů, aby DMX hodnota 254 odpovídala 100 % jasů. Naopak hodnota 0 na DMX odpovídá 0 % jasové složky. Pro kanál efektu byla opět použita bitová maska na 3 bity, tudíž je zde prostor pro kreativitu a je možné vytvořit až 32 efektů. To je ale předmětem další inovace těchto produktů, a v mé práci budeme pracovat pouze s několika efekty pro snadnou implementaci a zejména ověření řádné funkčnosti a spolehlivosti. Kanál pro tempo bude měnit rychlost.

## 8.8 Finální kód vysílače

Ve finálním kódu vysílače je několik sekcí, které jsou odděleny, a nyní si je můžeme rozebrat. První sekcí je tzv. *include*, ve kterém se nachází veškeré knihovny, které byly pro programování využity. Nachází se zde knihovna pro obsluhu rádiové komunikace, dále knihovna pro samotný mikrokontrolér, poté knihovna pro zpracování příchozích DMX hodnot a jejich čtení, a také knihovna pro nastavení LCD displeje.

Další sekcí jsou makra. Zde definujeme veškeré piny, počet trubice, DMX adresy, začínající DMX kanál a počet využitých kanálů. Další sekce nastavuje a zprovožňuje právě zmíněný LCD displej. Definujeme zde piny pro tlačítka, maximální dobu pro nastavení apod. Následující sekcí je vytvoření struktury, která slouží pro odesílání paketu přijímači. Dále jsou zde funkce, které zpracovávají příchozí DMX zprávy a dále je odesílají ve formě paketu do přijímače. Nachází se zde také *setup* funkce, ve které inicializujeme LCD displej a baud rychlost přenosu pro rádiovou komunikaci. Základní je zde část pro LCD displej, kde pomocí tlačítek mapujeme jednotlivé trubice do skupin. Tím uživatel zajistí a dokáže ovládat, od kterého DMX kanálu budou jednotlivé trubice pracovat. Výchozí počáteční DMX kanál je součástí nastavení a je možné jej změnit. Uložení scény probíhá pomocí vyptávací funkce, které může zapsat nastavení do EEPROM, paměti v Arduino UNO. Při opětovném připojení do sítě je tak možné načíst poslední použitou scénu. Samozřejmě je také varianta opětovného, nového namapování. Ovládání displeje je dle mého názoru velmi uživatelsky přívětivé a je minimální šance chybovosti při obsluze. Celý kód vysílače je k dispozici v příloze této práce.

## 8.9 Finální kód přijímače

Kód přijímače obsahuje ze základu totožné nebo podobné části, které se nachází ve vysílači. Nachází se zde sekce jako *include*, kde najdeme potřebné knihovny

pro správné fungování a jednoduché programování, dále makra pro definici pinů apod. dále funkce pro zobrazení efektů, ve kterém je nutné zahrnout provedení rozsvícení LED pásku. Samostatnou funkcí je také *setup*, ve kterém definujeme výstupní piny, kontrolní LED diodu, baud rychlost pro přenos zpráv po rádiu, anebo inicializace samotného LED pásku. Celkový kód je opět k dispozici v příloze této práce. Zásadní částí jsou zde definované efekty, kterými definujeme přesný chod efektu, tzn. barva, jas a rychlost efektu. Další zásadní věcí je *switch case*, který dokáže rozeznat takzvaný rozsah DMX hodnot. Pokud máme například 32 efektů, potom na jeden efekt připadá rozsah 8 hodnot DMX. Další podstatná věc v kódu přijímače je tabulka barev, která definuje přesné odstíny které se pro jednotlivé efekty použijí. Více o těchto barvách popsáno v sekci 8.9.1. V úvodu bylo zmíněno, že je přijímači část kódu pro kontrolní součet. To znamená, že do mojí struktury packetu, která se odesílá, je vložen ještě jeden byte, který dělá součet všech příchozích hodnot, pokud jsou hodnoty ve správných mezích, paket se vyhodnotí jako validní a scéna se na LED trubici provede. V opačném případě se na trubici nic neukáže.

### 8.9.1 Mapování barev

Pro všechny barevné efekty jsou namapovány barvy odpovídající společnosti *American DJ's*. Odpovídající RGBW hodnoty pro dané odstíny barev dokážeme nastavit tak, že si na bílou plochu promítneme barvy z profesionálního světla, konkrétně *Mega Tripar Profile* a vedle toho doladíme na LED pásku odpovídající RGBW hodnoty tak, aby bylo dosaženo co nejvíce stejného odstínu. Odlišnost mezi našimi vytvořenými odstíny a profesionální světelnou technikou využívanou na pódiích tak bude minimální. Během testování byly veškeré odstíny pečlivě vyzkoušeny na veškerých LED diodách. [18].

### 8.9.2 Použité efekty

Pro mojí práci jsem si vytvořila pomocnou tabulku, do které jsem si vypsala veškeré použité DMX kanály tak, aby bylo přehledně záznamováno, které kanály přiřadím čemu a jaké efekty, případně varianty, budu nadále programovat. Je tak menší pravděpodobnost, že by byl nějaký efekt mnou navržený opomenut.

Efekty, které jsou momentálně naprogramovány:

- Statické svícení jednou barvou
- Postupné rozsvěcování
  - ▷ Od krajů – buď předchozí LED zůstávají svítit, anebo zhasínají
  - ▷ Od středu – buď předchozí LED zůstávají svítit, anebo zhasínají
- Padající kapky – jedna nebo více kapek
- Efekt od středu se zhasínáním od středu

- Efekt strobo, poměr tma:svit 1:1
- Efekt problikávání lichých a sudých LED
- Efekt pulzování
- Efekt blikání

Tyto efekty budou stačit v rámci řádného otestování rychlosti a spolehlivosti. V následujících vylepšeních je možné tyto efekty rozšířit na další požadavky kapely.



# Závěr

První část mé diplomové práce se zabírala nastudováním využitých digitálních protokolů, které budou pro přenos potřeba, konkrétně tedy MIDI a DMX512. Dále jsem navrhla blokové schéma s částmi, které bude prototyp mít, jak vysílač, tak přijímač, vybrala jsem konkrétní součástky, zvolila bezdrátový přenos pomocí rádiové komunikace a mikrokontrolér, který bude trubice ovládat. Zásadní část, která byla k zamyšlení, se týkala napájecí části. Byla požadována vysoká výdrž a spolehlivost během vystoupení a možnost dobíjení. Zároveň baterie budou tvořit určitou zátěž a poskytovat stabilitu podstavce pro LED profil.

Propojení jednotlivých součástek bylo zprvu realizováno za pomoci nepájivého pole, díky kterému nejsou součástky napevno připevněné a je možná manipulace a rozmisťování podle místa na desce. Nepájivé pole zajistilo plynulý chod při přidávání a odebrání zvolených součástek a jejich testování jak samostatně, tak celkového produktu.

Byl také využit 3D tisk pro výrobu krabičky vysílače, podstavce LED profilu a nástavec na akumulátor.

Do mikrokontroléru byly následně nahrány kódy pro vysílač a přijímač, zjišťována pak byla spolehlivost komunikace a rychlost přenosu. Neočekávané nedostatky byly doladěny v další části práce.

Prototypem byl hotový výrobek LED trubice, která je na podstavci s akumulátorem a elektronikou uvnitř stojánku. Zvlášť je potom na nepájivém poli vysílač, který vysílá zprávy a instrukce. Prototyp komunikoval pomocí rádiové komunikace a vysílač vysílal ve smyčkách příkazy, které přijímač zpracoval a případně provedl změny viditelné na LED pásku.

Finální verzí produktu je LED trubice o délce 1,5 m, na které se nachází požadovaných 144 diod. Tato LED trubice dokáže pomocí příchozích DMX zpráv měnit barvu, jas, efekt a rychlost efektu v reálném čase. Nachází se zde 64 barev, které odpovídají standardu vizuální techniky *American DJ's*. Mapování trubic na jednotlivé DMX kanály je zajištěno tlačítky na vysílači. Ovládání vysílače a mapování trubic je uživatelsky přívětivé.

Pro další rozšíření této práce je možné přidání dalších DMX kanálů, které mohou například zastupovat více efektů, měnit směr efektů, apod. Dalším možným rozšířením práce je ovládání pomocí mobilní aplikace, která bude prostřednictvím Wi-Fi komunikovat s trubicemi.



# Literatura

- [1] MLČÁK, Tomáš. *Světlo a osvětlování*. [online]. [cit. 2024-11-08]. Ostrava. Prezentace ve formátu PDF. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Dostupné z: <[https://home1.vsb.cz/~mlc37/TZB%20III%20\(FAST\)/Prednasky/3Svetlo.pdf](https://home1.vsb.cz/~mlc37/TZB%20III%20(FAST)/Prednasky/3Svetlo.pdf)>.
- [2] BÁTORA, Branislav. *Umělé osvětlení*. [cit. 2024-11-07]. Brno, 2023. Prezentace z přednášky ve formátu PDF. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [3] ŘÍHA, Kamil. *Světlo, barva, kolorimetrie*. [online]. [cit. 2024-10-10]. Brno, 2023. Prezentace ve formátu PDF. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Dostupné z: <<https://www.studocu.com/cs/document/vysoke-uceni-technicke-v-brne/video-technology-and-multimedia/01-kolorimetrie-1-prezentace/80908220>>.
- [4] HANUS, Stanislav. *Základní poznatky o světle*. [cit. 2024-10-10]. Brno, 2023. Prezentace z přednášky ve formátu PDF. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [5] Autor neznámý. *Co je to světlo, jak se šíří a jaké má druhy*. [online]. [cit. 2024-11-07]. Dostupné z: <<https://www.artcrystal.cz/n/co-je-to-svetlo-jak-se-siri-a-jake-ma-druhy>>.
- [6] *RGB or CMYK? – Choose the right colour space for printed products*. [online]. [cit. 2024-11-08]. Dostupné z: <<https://meb.fi/ENG/blog/post/rgb-or-cmyk-with-printed-products>>.
- [7] RYŠAVÝ, Václav. *LED technologie a jejich využití v osvětlování*. [online]. [cit. 2024-11-08]. Brno, 2012. Bakalářská práce. JANÁČKOVA AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V BRNĚ, Divadelní fakulta. Ateliér divadelního manažerství a jevištní technologie Studijní obor jevištní technologie. Vedoucí práce: BcA. Jan Hons Šuškleb. Dostupné z: <[https://is.jamu.cz/th/d83ge/text\\_prace.pdf](https://is.jamu.cz/th/d83ge/text_prace.pdf)>.
- [8] *Understanding DMX* [online]. [cit. 2024-10-10] Dostupné z: <<https://www.sweetwater.com/sweetcare/articles/understanding-dmx/>>.
- [9] SCHIMMEL, Jiří. *Studiová a hudební elektronika*. 2. vydání. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektroniky a komunikačních

- technologií, Ústav telekomunikací, 2015. ISBN 978-80-214-4452-2. Dostupné z: <[https://www.vut.cz/www\\_base/priloha\\_fs.php?dpid=61387&skupina=dokument\\_priloha](https://www.vut.cz/www_base/priloha_fs.php?dpid=61387&skupina=dokument_priloha)>.
- [10] *NARA Alpha* [online]. [cit. 2024-11-05] Dostupné z: <<https://shop.naralamp.cz/nara-alpha-svetly-podstavec/>>.
- [11] *BeamZ Pro Zelos LED Tube Set* [online]. [cit. 2025-05-01] Dostupné z: <[https://www.profi-dj.cz/svetelna-technika/led-efekty/led-dekorace/beamz-pro-zelos-led-tube-set-8ks-v-prepravnim-kufru/?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=20560959052&gbraid=OAAAAADqfje1o0ypCDxi12UkKpoTDciLCb&gclid=Cj0KCQjw\\_8rBBhCFARIsAJrc9yArK0Bd79QsQeP0i0-ACvNdI4BzL1kbQhH\\_xm6tmyb9Seyv0CGILS8aAv0ZELw\\_wcB#univerzalni/](https://www.profi-dj.cz/svetelna-technika/led-efekty/led-dekorace/beamz-pro-zelos-led-tube-set-8ks-v-prepravnim-kufru/?gad_source=1&gad_campaignid=20560959052&gbraid=OAAAAADqfje1o0ypCDxi12UkKpoTDciLCb&gclid=Cj0KCQjw_8rBBhCFARIsAJrc9yArK0Bd79QsQeP0i0-ACvNdI4BzL1kbQhH_xm6tmyb9Seyv0CGILS8aAv0ZELw_wcB#univerzalni/)>.
- [12] *LED pásek SK6812* [online]. [cit. 2025-04-10] Dostupné z: <[https://www.aliexpress.com/item/1005001890529252.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.48.6db118024iVFuk](https://www.aliexpress.com/item/1005001890529252.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.48.6db118024iVFuk)>.
- [13] *Li-Ion pracovní napětí* [online]. [cit. 2025-04-10] Dostupné z: <<http://www.battex.info/?id=77&top=200>>.
- [14] *Nástavec na PARKSIDE akumulátor* [online]. [cit. 2025-05-01] Dostupné z: <<https://www.printables.com/model/775850-parkside-battery-adapter>>.
- [15] *Vlastnosti materiálu ASA* [online]. [cit. 2025-05-01] Dostupné z: <<https://www.prusa3d.com/cs/produkt/prusament-asa-natural-850g/#about-asa>>.
- [16] *Vlastnosti materiálu PLA* [online]. [cit. 2025-05-01] Dostupné z: <<https://www.prusa3d.com/cs/produkt/prusament-pla-jet-black-1kg/#about-pla>>.
- [17] *DMX controller* [online]. [cit. 2025-02-01] Dostupné z: <[https://github.com/GadgetReboot/Arduino/tree/master/Uno/DMX\\_Serial\\_Tx\\_Rx](https://github.com/GadgetReboot/Arduino/tree/master/Uno/DMX_Serial_Tx_Rx)>.
- [18] *Barevné kombinace RGBW MegaTripar* [online]. [cit. 2025-05-01] Dostupné z: <[http://adjmedia.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/manuals/Mega%20Tripar%20Profile%20Plus\\_CS.pdf](http://adjmedia.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/manuals/Mega%20Tripar%20Profile%20Plus_CS.pdf)>.

# Seznam symbolů a zkratek

**LED** zkratka pro Light Emitting Diode  
**ESP8266** mikrokontrolér  
**MIDI** Multi Instruments Digital Interface  
**DMX512** Digital Multiplex s 512 kanály  
**RGB** barevný model aditivního míchání barev  
**CMYK** barevný model subtraktivního míchání barev  
**RGBW** druh LED pásku se čtyřmi barvami diod  
**ESP8266** název mikrokontroléru  
**XLR** druh konektoru využívající se v hudební technice  
**Wi-Fi** bezdrátový síťový protokol  
**RS485** standard sériové komunikace  
**TTL** technologie integrovaných logických obvodů  
**MOSFET** typ tranzistoru  
**HC-12** rádiový modul pro komunikaci mezi vysílačem a přijímačem  
**ADAT** digitální protokol v hudební technice  
**S/PDIF** digitální protokol v hudební technice  
**PCM** pulzně kódovaná modulace  
**LP-16** přehrávač MIDI stop  
**V** Volt, jednotka napětí  
**A** Ampér, jednotka proudu  
**mA** miliampér, odvozená jednotka proudu  
**mm** milimetr, odvozená jednotka délky  
**W** Watt, jednotka výkonu  
**DC** Direct Current, stejnosměrný proud  
**UV** Ultraviolet, druh záření  
**GND** Ground, označení země v elektrotechnice  
**MHz** Megahertz, odvozená jednotka frekvence



# A Přílohy

## A.1 Elektronické přílohy

V elektronické příloze najdeme složku s názvem *Diplomová práce*, která obsahuje složku s kódy využité během testování a finální kódy, dále složku PDF, kde se nachází schéma zapojení ve formátu PDF, uživatelský manuál a PDF výkresy pro 3D tisk.

### A.1.1 Složka s kódy

- `vysilac_testovaci.txt` – testovací kód pro vysílač s rádiovým modulem
- `prijimac_testovaci.txt` – testovací kód pro přijímač s rádiovým modulem
- `vysilac_finalni.txt` – finální kód pro vysílač s rádiovým modulem
- `prijimac_finalni.txt` – finální kód pro přijímač s rádiovým modulem

### A.1.2 PDF

- `3D_tisk_vykresy.pdf`
- `schemata_zapojeni.pdf`
- `uzivatelsky_manual.pdf`