



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ**

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**ZDROJ SVĚLA ŘÍZENÝ MIKROPOČÍTAČEM**

LIGHT SOURCE CONTROLLED BY MICROCOMPUTER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**LUCIE KOLÁRIKOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Dr. Ing. PAVEL ZEMČÍK,**

BRNO 2017

**Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií**

Ústav počítačové grafiky a multimédií

Akademický rok 2016/2017

**Zadání bakalářské práce**

Řešitel: **Kolářiková Lucie**

Obor: Informační technologie

Téma: **Zdroj světla řízený mikropočítačem**

**Light Source Controlled by Microcomputer**

Kategorie: Uživatelská rozhraní

**Pokyny:**

1. Prostudujte způsob řízení světla mikropočítačem (například embedded, PC, nebo mobilní zařízení), se zaměřením na LED.
2. navrhnete jednoduchý zdroj světla s více vybranými světelnými zdroji a způsob jeho ovládání.
3. Popište a diskutujte možnosti ovládání světla a dosažitelné vlastnosti.
4. Navržený systém implementujte a demonstруйте (například na vhodné hračce).
5. Diskutujte dosažené výsledky a možnosti pokračování práce.

**Literatura:**

- Dle pokynů vedoucího

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 až 3 zadání

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Zemčík Pavel, prof. Dr. Ing.,** UPGM FIT VUT

Datum zadání: 1. listopadu 2016

Datum odevzdání: 17. května 2017

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
Fakulta informačních technologií  
Ústav počítačové grafiky a multimédií  
602 00 Brno, Božetěchova 2



doc. Dr. Ing. Jan Černocký  
vedoucí ústavu

## Abstrakt

Světelná technika patří mezi jednu z nejrychleji se rozvíjejících technologií. Pomocí řízení světelných zdrojů počítačem lze dosahovat efektů, které mají využití v nejrůznějších odvětvích, ať už z hlediska estetického, informačního nebo bezpečnostního. Tato práce se zabývá analýzou, návrhem a realizací vestavěného systému se zaměřením na řízení tříbarevných LED modulů mikropočítačem. Jsou zde také uvedeny informace o různých možnostech řízení zdroje světla. Navržený produkt tvoří světelný panel s LED moduly, k jejichž řízení je použita platforma Arduino.

## Abstract

Light technology is one of the fastest growing technology. By computer controlled light sources many effects usable in variety of industries can be achieved. This thesis deals with the analysis, design and implementation of an embedded system focusing on the control of three-color LED modules by microcomputer. Information about different light source control options is also provided. The final designed product is a light panel with LED modules which are controlled by the Arduino platform.

## Klíčová slova

Světlo, LED, mikropočítač, řízení světla, PWM, Arduino, světelný panel, mikrokontrolér, IR přijímač

## Keywords

Light, LED, microcomputer, light control, PWM, Arduino, light panel, microcontroller, IR reciever

## Citace

KOLÁRIKOVÁ, Lucie. *Zdroj světla řízený mikropočítačem*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Pavel Zemčík,

# Zdroj svěla řízený mikropočítačem

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením prof. Dr. Ing. Pavla Zemčíka. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

.....  
Lucie Koláriková  
17. května 2017

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Dr. Ing. Pavlu Zemčikovi za jeho odborné vedení, pomoc a další cenné rady při zpracovávání mé bakalářské práce.

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2 Zdroj světla a jeho řízení</b>	<b>3</b>
2.1 Světlo . . . . .	3
2.2 Vybrané barevné modely . . . . .	5
2.3 LED dioda . . . . .	7
2.4 Řízení intenzity zdroje světla . . . . .	8
2.5 Pulzně šířková modulace – PWM . . . . .	9
2.6 Platforma Arduino . . . . .	10
2.7 Druhy desek Arduino . . . . .	11
2.8 Arduino Mega 2560 . . . . .	12
2.9 Další vybrané platformy a mikrokontroléry . . . . .	14
2.10 NeoPixel RGB LED moduly WS2812B . . . . .	15
<b>3 Zhodnocení současného stavu</b>	<b>19</b>
3.1 Analýza problému . . . . .	19
3.2 Použitý hardware . . . . .	20
<b>4 Realizace</b>	<b>21</b>
4.1 Funkce systému . . . . .	21
4.2 Grafický návrh . . . . .	21
4.3 Mechanické uspořádání . . . . .	22
4.4 Fyzické zpracování . . . . .	24
4.5 Uživatelské rozhraní . . . . .	26
4.6 Algoritmy řízení světla . . . . .	27
4.7 Programové detaily . . . . .	28
4.8 Testování . . . . .	30
<b>5 Závěr</b>	<b>32</b>
<b>Literatura</b>	<b>34</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Člověk urazil ve svém vývoji značný kus cesty díky schopnosti zpracovávat informace a používat myšlení – a nejvíce informací přijímá okem právě pomocí světla. Na Zemi je hlavním zdrojem světla Slunce, což je naší planetě nejbližší hvězda, která ji zásobuje nejen světlem, ale také teplem. Sluneční energie je pro Zemi nezbytně důležitá, protože pohání téměř všechny procesy, které na Zemi probíhají. Je na ní závislé počasí, podnebí, ale také teplotní změny, podílí se na přílivu a odlivu. Slunce také pomáhá udržovat na planetě vodu v kapalném skupenství. Je klíčovým faktorem pro fotosyntézu rostlin, tedy i pro vznik kyslíku a dýchání živočichů na Zemi. Také umožňuje živočichům vidět.

Závislost člověka na světle je důvodem k stále větší pozornosti věnované umělému osvětlení a jeho zdokonalování. Na umělé osvětlení jsou také kladeny čím dál tím větší požadavky.

Světelná technika prochází stejně jako energetika a elektrotechnika díky moderním technologiím ohromným rozmachem. Velký vliv na to má právě rozvoj informačních technologií a elektroniky. Začínají ustupovat málo výkonné světelné zdroje s velkou energetickou náročností a používají se nové, účinnější a úspornější technologie. Čím dál více se také setkáváme s potřebou řízení světelných zdrojů počítačem, díky němuž lze dosahovat nejrůznějších světelných efektů, které by byly bez tohoto řízení nemožné. Nejčastějšími produkty tohoto typu jsou například maticové displeje pro zobrazování informací v dopravních prostředcích, ve strojích, domácnostech; dále inteligentní osvětlení v divadlech, na koncertech, v inteligentních domech; dále například vánoční řetězy s různými algoritmy blikání, dekorativní předměty a spousty jiných výrobků. Světla řízená počítačem mohou být důležitá také pro bezpečnost – např. automatické zapnutí osvětlení při snížené viditelnosti, v noci apod.

Tato práce se zabývá zejména světlem vyrobeným uměle člověkem, jeho řízením a působením na informační a emoční stránku člověka. Cílem práce je vytvoření zařízení schopného řídit zdroj světla reprezentovaný LED diodami, který poskytuje několik zobrazovacích režimů, mezi nimiž lze přepínat dálkovým ovládním.

Práce je členěna do několika částí. V následující kapitole jsou uvedeny základní informace o světle a druzích světelných zdrojů, o LED diodách, jsou zde také uvedeny možnosti řízení intenzity zdroje světla; v kapitole 3 nalezneme průběh návrhu výsledné práce jako celku a odůvodnění výběru jednotlivých použitých součástí. Ve 4. kapitole je poté popsána samotná realizace od návrhu až po fyzické zpracování, programování a testování práce. Jsou zde také uvedeny možnosti, jak na tuto práci navázat.

## Kapitola 2

# Zdroj světla a jeho řízení

Tato kapitola obsahuje informace o světle a LED diodách, popisuje obecné možnosti řízení intenzity světla, věnuje se také platformě Arduino a dále se zabývá nejdůležitějšími hardwarovými součástkami vybranými pro realizaci. Kapitola si nedává za cíl být vyčerpávajícím zdrojem informací z daných témat, ale zabývá se zejména informacemi relevantními k zaměření práce.

### 2.1 Světlo

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno prostřednictvím zrakového orgánu vybudit zrakový vjem. Hlavním zdrojem světla je Slunce, které je pro planetu Zemi a pro život na ní nezbytně důležité (zejména kvůli fotosyntéze, funkci zdroje tepla apod.). Rychlost světla je základním atributem ve fyzice i astronomii [18]. Vlnové délky viditelného záření se pohybují v rozsahu přibližně 390 až 790 nm. Viditelné záření je část optického záření, které v kratších vlnových délkách navazuje na ultrafialové záření a na straně delších vlnových délek přechází v infračervené záření [27].

Ke vzniku světla v současných elektrických světelných zdrojích dochází na těchto čtyřech základních principech [27]:

- inkadescencí, neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu,
- vybuzením atomu v elektrickém výboji,
- luminiscencí pevných látek,
- emisí fotonu při průchodu proudu polovodičem.

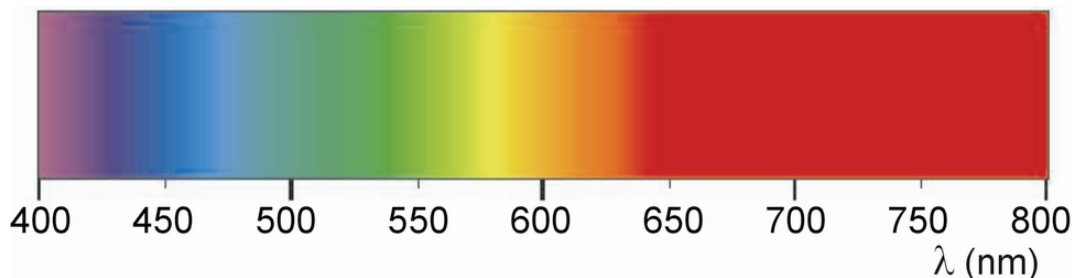
Typickým představitelem prvního typu elektrických světelných zdrojů jsou obyčejné a halogenové žárovky. Dodávaná energie je tepelná a vzniká průchodem elektrického proudu wolframovým vláknem.

Druhý typ představují nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje, tedy zářivky, rtuťové, sodíkové, halogenové a nové typy výbojek. U těchto zdrojů světlo vzniká při nepružných srážkách atomů, iontů a elektronů ve sloupci výboje nacházejícího se v elektrickém poli.

Světelné zdroje se vznikem světla luminiscencí jsou založeny na principu přeměny záření o kratší vlnové délce (např. ultrafialového záření) na záření o kratší vlnové délce (např. viditelné záření). Tento jev se nazývá fotoluminiscence a nastává v chemických látkách nazývaných luminofory, což je u výbojových zdrojů povlak nanesený na vnitřní povrch výbojové

trubice. Zářivka bez luminoforu vyzařuje ultrafialové záření a to se pomocí luminoforu transformuje do viditelné oblasti.

Představitelem posledního případu vzniku světla jsou LED diody, i u nich však lze využít k transformaci emitujícího ultrafialového záření luminofory.



Obrázek 2.1: Rozložení barev ve spektrální oblasti viditelného záření. Převzato z [27].

V obrázku 2.1 je znázorněno složení viditelného světla. Ve vlnových délkách 380–420 nm je fialová barva, 440–460 nm představuje modrou, 510–560 nm zelenou, 560–590 nm žlutou a 650–780 nm červenou barvu.

## Typy světelných zdrojů

Světelné zdroje lze rozdělit na:

- **vlastní**, což jsou tělesa nebo látky, v jejichž struktuře dochází ke vzniku světla – tedy například Slunce, žárovka, plamen a podobně,
- **nevlastní**, což jsou látky, které samy světlo nevytvářejí, ale pouze odráží a rozptylují dopadající světlo – sem patří např. Měsíc, mraky a všechny osvětlené předměty. Nevlastní zdroje můžeme dále rozdělit na **reflektory** (česky doslova *odražče*, tedy např. zrcadlo), které jsou neprůhledné, dále na čiré **refraktory** a **stínítka** nebo **matnice**, což jsou skleněné, na jedné straně matované desky, na kterých se rozptyluje dopadající světlo, popřípadě **difuzéry**, což jsou poloprůhledné materiály určené k rozptylu světla.

Dále se podle původu dají zdroje světla rozdělit na:

- **přírodní zdroje**, kam patří zejména kosmická tělesa, chemické reakce, biologické zdroje, elektrické výboje a tektonické jevy,
- **umělé zdroje**, které se rozdělují podle podstaty vzniku světla na zdroje na principu teplotního záření (např. žárovky), záření elektrického výboje v plynech a parách kovů (zářivky, výbojky) nebo luminiscence (např. svítivé diody – LED).

V teplotních světelných zdrojích dochází průchodem elektrického proudu k zahřátí kovu na vysokou teplotu, což způsobí v důsledku tepelného pohybu optické záření. Výbojové světelné zdroje využívají přeměnu elektrické energie na kinetickou energii elektronů, která se při srážkách s atomy plynů mění na optické záření. Světelné diody pracují na principu vyzařování energie (fotonů) při samovolném návratu elektronů z vybuzeného do základního energetického stavu [27].



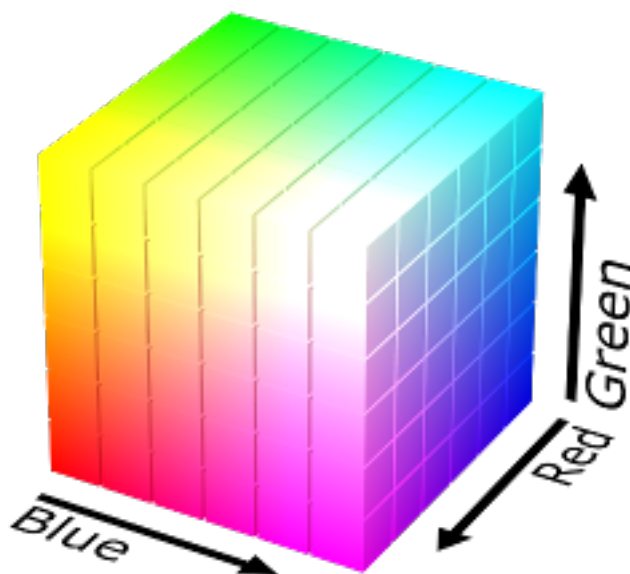
## 2.2 Vybrané barevné modely

Barevný model je abstraktní matematický model, který popisuje způsob reprezentace barev pomocí  $n$ -tic čísel. Používá základní barvy, ze kterých mísí barvy ostatní. Barva světla totiž může být dána jedinou vlnovou délkou viditelného záření, v přírodě však jde o směs mnoha záření různých vlnových délek [34].

### Barevný model RGB

Nejznámějším a nejpoužívanějším je barevný model RGB. Je využíván zejména v zobrazovacích zařízeních, jako jsou například televize nebo monitory, a používá aditivní míchání tří základních barev, a to červené (Red), zelené (Green) a modré (Blue), odtud RGB. Mísením těchto tří základních barev lze získat většinu barev z barevného spektra, který vnímáme lidským okem. Jde o míchání vyzařovaného světla.

RGB model nedefinuje základní barvy kolorimetricky, a proto výsledek smíchání tří složek není přesný, ale relativní. Je tedy závislý na zařízení; různé zařízení pak mohou danou hodnotu RGB detekovat nebo reprodukovat jiným způsobem [42].



Obrázek 2.2: Geometrická reprezentace barevného modelu RGB. Převzato z [42].

Model RGB lze zobrazit pomocí krychle, kde každá z kolmých hran udává škálu intenzit barevných složek. Libovolný bod se souřadnicemi  $(r, g, b)$  v této krychli poté udává hodnotu výsledné barvy [37]. Čím je součet intenzit větší, tím je výsledná barva světlejší. Geometrickou reprezentaci zobrazuje obrázek 2.2.

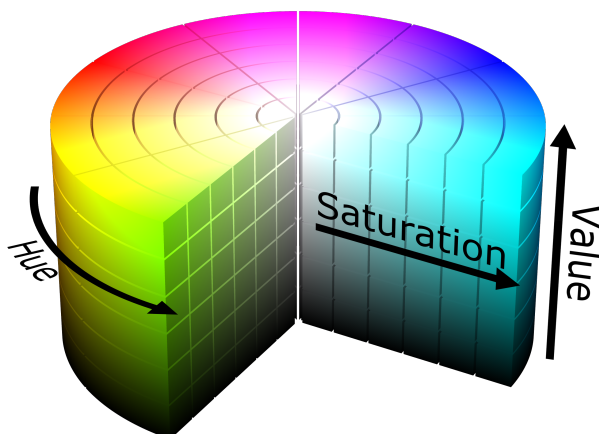
Typicky se barevný model RGB využívá ve videokamerách, skenerech, fotoaparátech, monitorech a displejích.

## Barevný model HSV

Barevný model HSV nejvíce odpovídá lidskému vnímání barev. Transformuje RGB model tak, aby byl více intuitivní a uživatelsky orientovaný – umožňuje pracovat přímo se sytostí, barevným tónem a jasnem, což například v modelech RGB a CMY přímo ovládat nelze[19]. Byl vytvořen v 70. letech 20. století pro počítačovou grafiku.

Barvy reprezentované modelem HSV se skládají ze tří složek [38][23]:

- **Hue** – barevný tón, neboli odstín; představuje jej poloha po obvodu kruhu ( $0^{\circ}$ – $360^{\circ}$ ). Obecně se označuje názvem barvy. Dohodou se za úhel  $0^{\circ}$  považuje červená,  $120^{\circ}$  odpovídá zelené,  $240^{\circ}$  modré a  $360^{\circ}$  opět červené, protože jsme objeli kruh kolem dokola.
- **Saturation** – sytost barvy; představuje množství šedi v poměru k odstínu. Měří se v procentech – 0 % představuje šedou, 100 % plně sytou barvu.
- **Value** – hodnota jasu, množství bílého světla. Udává relativní světlost nebo tmavost barvy.



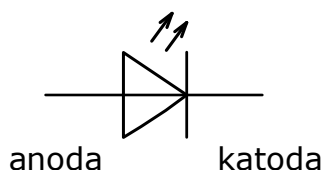
Obrázek 2.3: Grafické zobrazení barevného modelu HSV. Převzato z [38].

Barevný model HSV se hojně využívá při zpracování obrazu a v nástrojích pro výběr barev v počítačové grafice. Je také využíván pro snadnější práci s barvou při ovládání LED modulů v této práci.

## 2.3 LED dioda

Zvoleným zdrojem světla pro následné řízení je LED dioda (Light-Emitting Diode), tedy světlo vyzařující dioda s oficiálním českým názvem „elektroluminiscenční dioda“. LED osvětlení se velice rozšířilo v průběhu relativně krátké doby, dnes je již součástí každodenního života – od LED žárovek, podsvícení obrazovek, blesku v mobilních telefonech až po inteligentní světlomety nové generace automobilů.

LED dioda byla vyvinuta jako polovodičový zdroj světla v šedesátých letech minulého století. Podle typu umí LED generovat kratší i delší vlnové délky, než je oblast viditelného světla (ultrafialové a infračervené LED) [9], těmi se tato práce však dále nebude zabývat. Pásmo spektra záření diody je závislé na chemickém složení použitého polovodiče.

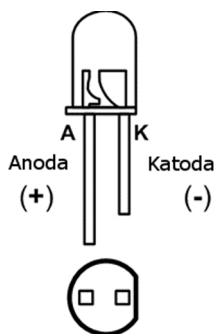


Obrázek 2.4: Schematická značka elektroluminiscenční diody. Převzato z [18].

Při průchodu elektrického proudu přechodem P-N v propustném směru přechod vyzařuje nekoherentní světlo. Koherence je vzájemná souvislost fáze a amplitudy vlnění, která vycházejí buď ze dvou různých míst na povrchu zářícího tělesa (prostorová koherence) nebo z jednoho místa, avšak s určitým časovým odstupem (časová koherence) [39]. Rozdělíme-li koherentní záření odrazem nebo lomem na dvě optické dráhy, můžeme je nechat vzájemně interferovat. U nekoherentního záření k interferenci nedochází.

Z principu LED diody vyplývá, že není možné generovat přímo bílé světlo, k tomu je využíván luminofor (látka schopná pohlcovat energii a následně ji vyzařovat ve formě světla [40]), nebo aditivní složení světla ze tří barevných složek (RGB).

Z hlediska regulace intenzity světla je výkon LED v regulační oblasti přibližně lineárně závislý na hodnotě budícího proudu LED [18].



Obrázek 2.5: Zobrazení polarit LED diody. Převzato z [28].

Na rozdíl od žárovek, u kterých nezáleží na polaritě napájecího napětí, LED diody zapojené nesprávným způsobem nepracují. Při správném zapojení napětí na P-N přechodu je dioda zapojena v *propustném směru* a prochází přes ni proud; pokud je však dioda

zapojena opačně, tedy v *závěrném směru*, téměř žádný proud přes ni neprochází a také nevyzařuje žádné světlo.

Správně je LED dioda zapojena anodou na kladnou polaritu a katodou na zápornou. Výstup anody má dlouhý vývod a zakulacené pouzdro, výstup katody má krátký vývod a ploché pouzdro. Polarita LED je zobrazena v obrázku 2.5.

#### • Výhody použití LED

Mezi základní výhody použití LED jako světelných zdrojů patří zejména tyto skutečnosti:

- nejsou citlivé na počet zapnutí a vypnutí,
- velmi rychle se rozsvěcí a zhasínají,
- při vhodném použití mají o 2 až 3 řády vyšší životnost než ostatní druhy světelných zdrojů [32],
- mají o 1 řád vyšší účinnost než žárovky,
- mají nízkou spotřebu energie,
- mají velmi malé rozměry,
- neprodukují teplo ve formě infračerveného záření,
- mají stálou barvu i při změně výkonu,
- jsou odolné vůči mechanickému poškození a nárazům [1].

LED diody mohou nahradit žárovky nejen v nouzových svítidlech, v orientačních a informačních systémech veřejných budov, hotelech, zdravotních zařízeních, nádražích, letištích, kinech a divadlech, v dekorativním osvětlení interiéru či exteriéru, ale v posledních letech slouží již také k hlavnímu osvětlení místností a budov [26]. Technologie LED má velký potenciál rozvoje do budoucna.

## 2.4 Řízení intenzity zdroje světla

Obecné možnosti řízení intenzity světla jsou:

- zapnutí/vypnutí (např. pouliční osvětlení, osvětlení chodeb, domácí lampy, svítilny apod.),
- nastavení výkonu při střídavém napájení (AC) za použití fázového řízení (např. AC 230 V, žárovky); k tomu se využívají hardwarové spínače typu triak, IGBT nebo MOS-FET tranzistor apod.[22],
- nastavení výkonu při stejnosměrném napájení (DC) za použití zdroje proudu (např. pro LED osvětlení); k tomu se využívají hardwarové prostředky jako pasivní i aktivní rezistory,
- nastavení výkonu při stejnosměrném napájení (DC) za použití PWM řízení (LED osvětlení, motorů); k tomu se používají hardwarové prostředky jako IGBT nebo MOS-FET tranzistory, integrované obvody, výstupy mikrokontrolérů apod.

Při použití 3barevných LED modulů je možná regulace barvy světelného zdroje nastavením intenzity základních složek RGB, podobně jako to probíhá u každého barevného pixelu LED displejů.

Tato práce se zaměřuje na nalezení efektivní cesty řízení LED osvětlení pomocí prostředků, které jsou v současnosti běžně dostupné. Při řízení je žádoucí dosáhnout možnosti nezávislého nastavení intenzity a barvy u kteréhokoliv zdroje světla a s ohledem na předpokládaný nízký výkon zdrojů bude buzení zdroje ovládáno přímo výstupy mikrokontroléru.

Z hlediska řízení LED lze obvodově použít tyto možnosti:

- přímé řízení PWM samostatně každé LED barevné složky zdroje hardwarově PWM výstupem mikrokontroléru,
- přímé řízení PWM samostatně každé LED barevné složky zdroje softwarově digitálním výstupem mikrokontroléru,
- multiplexní řízení daným výkonem PWM pro skupinu LED zdrojů (řádky buzeny PWM, sloupce vybírají zdroje, které jsou zapnuty na tento stejný výkon),
- programovatelné integrované LED barevné moduly (např. *WS2812B*), které PWM nastavení všech tří barevných složek (včetně intenzity) provádějí autonomně podle zaslaných dat.

Pro výše popsané cíle je poslední možnost ideální pro zajištění značné nezávislosti na hardwarovém řešení a jednoduchosti obvodového řešení.

S vývojem elektronických technologií se ustupuje od klasického způsobu ovládání světelných zdrojů změnou napájecího napětí a přistupuje se k řízení osvětlení pomocí různých inteligentních řídicích systémů, které umožňují větší komfort, přesnost a případně nižší ekonomické náklady [27].

Aby výsledný produkt nemusel být připojen k počítači, ale tvořil samostatný celek obsahující již zabudovaný řídicí systém, je k řízení zdroje světla nejvhodnější použít mikrokontrolér, případně mikropočítač, a vytvořit tak vestavěný systém.

Je možné vybírat z dostupných možností komerčního HW, například:

- platforma Arduino,
- platforma Raspberry Pi,
- průmyslové PLC,
- mikrokontroléry Atmel AVR,
- mikrokontroléry PIC.

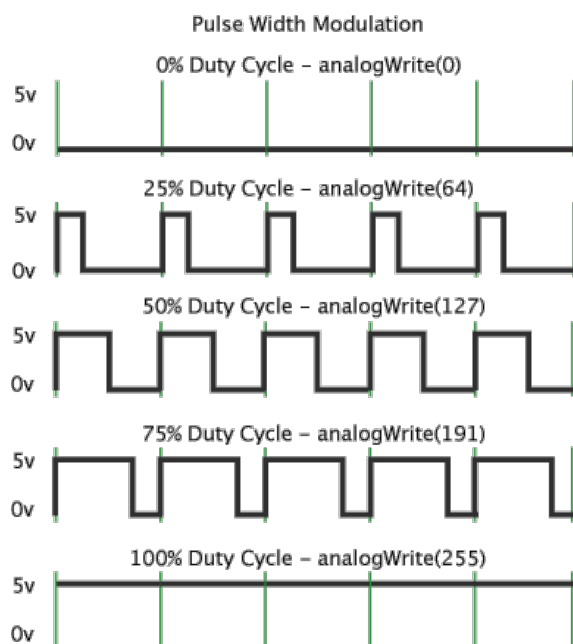
Vybrané platformě Arduino a jejím deskám se dále věnují kapitoly 2.6, 2.7 a 2.8; některé jiné platformy a mikrokontroléry jsou dále zmíněny v kapitole 2.9.

## 2.5 Pulzně šířková modulace – PWM

Pulzně šířková modulace, neboli PWM (z anglického Pulse Width Modulation) je diskretní modulace pro přenos analogového signálu pomocí signálu digitálního, tedy dvouhodnotového (tím může být například napětí, proud nebo světelný tok). Vzhledem ke svým vlastnostem se často využívá ve výkonové elektronice pro řízení velikosti napětí nebo proudu [36].

Přenosový signál nesoucí informaci o přenášené hodnotě může nabývat hodnot logické 0 nebo logické 1, tedy vypnuto nebo zapnuto. Hodnota přenášeného signálu je pak dána poměrem mezi stavy vypnuto/zapnuto, takzvanou střídou. V anglických publikacích se pro střídu používá výraz *duty cycle*. Délka pulzu v logické 1 se nazývá šířkou pulzu. K získání požadovaných analogových hodnot je tato šířka pulsu měněna [14]. Frekvence PWM je konstantní a určuje, jak rychle bude docházet ke změnám stavu [16].

Regulace pomocí PWM se hojně využívá např. pro nastavení jasu LED diody. Logická 0 značí zhasnutou LED diodu, logická 1 zapnutou. Změnou střídy se pak mění hodnota jasu diody, která tedy v podstatě bliká z plného svitu do zhasnutí, lidské oko to však nezaznamená. Pokud tedy LED dioda svítí polovinu času, je její střída, a tedy i intenzita svitu 50 %. Pokud je LED dioda zapnutá čtvrtinu periody, svítí na 25 %.



Obrázek 2.6: Ukázka pulzně šířkové modulace. Převzato z [14].

V obrázku 2.6 je graficky znázorněn signál s různými střídami. Vertikální zelené linie znázorňují konstantní časovou periodu. Když funkce `analogWrite()` používá jako parametr pro nastavení signálu na výstupu hodnoty v rozmezí 0–255, pak volání `analogWrite(255)` vyjadřuje signál se 100% střídou, volání `analogWrite(127)` vyjadřuje 50% střídu a podobně.

## 2.6 Platforma Arduino

Arduino je open-source elektronická platforma založená na hardwaru a softwaru jednoduchém k použití. Pomocí systému Arduino lze číst vstupy (např. světlo ze senzoru, stisk tlačítka apod.) a definovat výstupy (např. aktivace motoru, zapnutí LED). Lze také programově určit, které piny budou vstupní a které výstupní. Program lze na desku nahrát přes její hardwarové vybavení. K programování desky se používá programovací jazyk Arduino (základem je C++) a oficiální vývojové prostředí Arduino IDE [5], popřípadě Atmel Studio.



Obrázek 2.7: Oficiální logo Arduina. Převzato z [30].

Arduino začalo vznikat v Itálii v roce 2005 s cílem vytvořit levný vývojový set pro studenty, kteří si nechtěli pořizovat drahé desky BASIC Stamp, které byly v té době velmi rozšířené, ale drahé [30]. Později se o produkty začala zajímat i širší veřejnost, a tak se jeho tvůrci z Interaction Design Institute Ivrea rozhodli jej rozšířit a poskytnout celému světu. Dnes jsou již na internetu k dispozici manuály, schémata, návody i knihovny a ukázkové projekty z nejrůznějších oblastí lidské činnosti (lékařství, pohyb dronů, záznamníky událostí, webové servery).

## 2.7 Druhy desek Arduino

V současnosti existuje více než dvacet druhů desek Arduino, které jsou na oficiálních stránkách [4] spolu s přídatnými moduly a dalším příslušenstvím přehledně rozděleny do kategorií podle možností využití – ať už ty nejjednodušší pro začátečníky, pro projekty s pokročilými funkcemi, do výuky, pro internet věcí, či desky vhodné na všití do textilu. Na stránkách je také možné v přehledné tabulce porovnat charakteristiky a parametry jednotlivých desek a podle toho vybrat pro svoji práci tu nejvhodnější.

- **Arduino Mini** je miniaturní verze Arduina navržená pro úsporu místa; z toho důvodu nedisponuje USB portem, avšak jeho výkon nijak nezaostává za většími deskami. K programování se používá externí USB 2 Serial převodník. Běží na procesoru ATmega328 s taktem 16 MHz.  
Je vhodné např. do chytrých vypínačů, dálkových ovladačů apod.
- **Arduino Nano** se od předchozí verze liší zejména tím, že obsahuje USB port a převodník, čímž odpadá nutnost mít k desce další programovací prostředek. Je díky tomu také o něco větší.
- **Arduino Micro** je nejmenší z rodiny; obsahuje čip s převodníkem (ATmega32U4). Výhodou je, že má vestavěné USB, díky kterému je Micro rozpoznatelné počítačem jako myš nebo klávesnice; může tak počítači zasílat příkazy jako stisk klávesy či posunutí myši bez nutnosti přeprogramování převodníku.
- **Lilypad Arduino** je jedno z těch, které jsou určeny právě k nošení na textilu. Spoje jsou tvořeny vodivou nití a dá se tak vytvořit například cyklistická mikina s přišitými blinkry.
- **Arduino Uno** je v současnosti nejpoužívanějším druhem a díky tomu je také nejvíce dokumentované. Je vhodné pro začátečníky. Na desce najdeme procesor ATmega328

a klasické USB. Vyvinuly se z něj i další dvě speciální desky – Arduino Ethernet, vybavené Ethernet portem pro připojení k síti a slotem pro microSD karty, a Arduino Bluetooth vybavené bluetooth modulem pro bezdrátovou komunikaci.

- **Arduino Mega 2560**, jehož vzhled vznikl prodloužením designu Arduina Uno. Díky větším rozměrům je zde prostor pro větší a výkonnější čipy a pro více pinů. Má větší výpočetní výkon než Arduino Mini, Nano či Uno [30][4]. Této desce je níže věnována samostatná kapitola 2.8.

**Arduino shieldy:** Pokud vybranému druhu desky Arduino chybí nějaká požadovaná funkce, lze k němu připojit některý ze shieldů, který je s danou deskou kompatibilní – musí mít stejné rozložení pinů jako deska Arduino. Shieldy jsou desky, které mohou být připojeny shora na desku Arduino a rozšiřují tak její funkce. Je jich celá řada, nejnámějšími jsou Ethernet shield, WiFi shield nebo Motor shield. Často se dají skládat na sebe a lze tak spojit jejich funkčnost dohromady. Obvykle je k nim také k dispozici příkladový program nebo knihovna.

**Arduino klony:** Kromě oficiální řady Arduino existuje spousta neoficiálních desek, takzvaných klonů. Tyto klony mají v názvu často -duino; název Arduino je chráněn autorskými právy. Jelikož jsou všechna schémata, součástky i software dostupné online bez poplatků, může si prakticky každý doma sestavit své Arduino. Existují klony téměř totožné s oficiálními modely (např. jen levnější), ale i desky uzpůsobené ke konkrétní činnosti, popřípadě rozšířené o komplexnější funkce.

Příklady klonů jsou [30]:

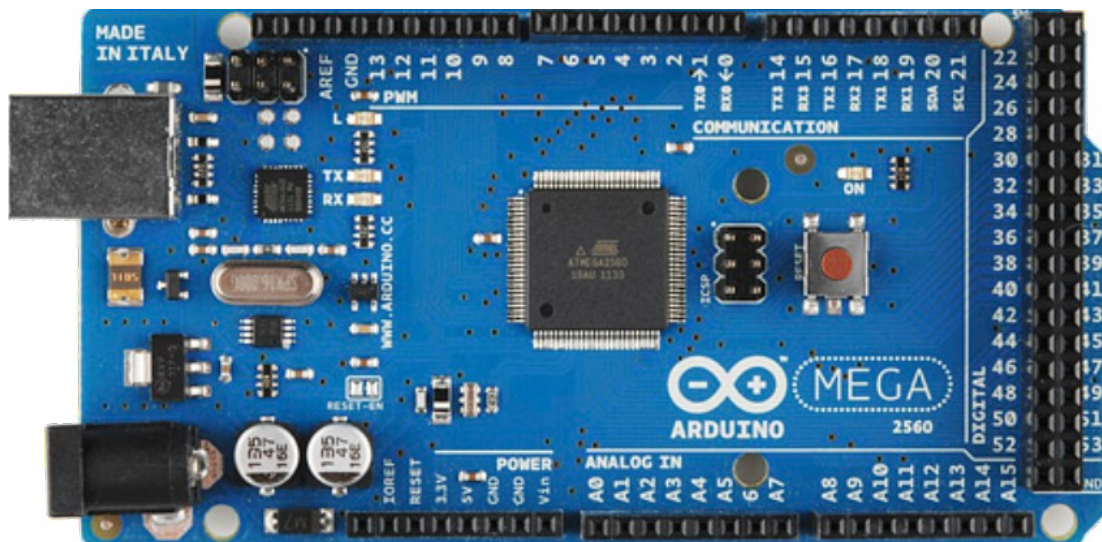
- **ArduPilot** navržený pro ovládání autonomních létajících zařízení – např. letadel nebo kvadrokoptérů,
- **Rainbowduino** navržené pro řízení maticového RGB LED displeje,
- **Freaduino**, **Seeeduino**, což jsou příklady o něco levnějších kopií originálních desek.

Klony Arduino mají různé procesory, rozměry i rozvržení pinů. Vše, co je potřeba k tomu, aby byly programově kompatibilní s Arduinem, je, že používají software Arduino IDE [31].

## 2.8 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 je navrženo pro komplexnější projekty, které potřebují více vstupně výstupních pinů, více programové paměti a více paměti RAM, než poskytují ostatní desky. Tato deska je vhodná zejména pro 3D tiskárny a robotické projekty. Obsahuje 54 digitálních vstupně výstupních pinů (z nichž lze 15 využít jako PWM výstupy), 16 analogových vstupů, 4 hardwarové sériové porty UART (z anglického *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), 16 MHz krystalový oscilátor, USB port, napájecí konektor, ICSP konektor (z anglického *In-Circuit Serial Programming*) a resetovací tlačítko. Používá procesor ATmega2560 [6]. Deska je kompatibilní s většinou příslušenství navrženou pro Uno [4]. Digitální piny 0 až 13, analogové vstupy 0 až 5, napájecí konektor a ICSP konektor jsou všechny na ekvivalentních pozicích [2].





Obrázek 2.8: Deska Arduino Mega 2560. Převzato z [25].

Arduino Mega 2560 je aktualizovaná verze Arduina Mega a dnes jej již nahrazuje. Původní Arduino Mega využívalo procesor ATmega1280 a mělo 128 kB flash paměti, na rozdíl od novějšího, které má flash paměti 256 kB.

Arduino může být napájeno USB konektorem nebo pomocí externího zdroje. Provozní napětí Arduina Mega 2560 je 5 V. Limit vstupního napětí činí 6-20 V, který platí pro napájecí konektor disponující regulátorem napětí. Pokud je však k dispozici méně než 7 V, pin by mohl poskytovat méně než 5 V a deska by se tak stala nestabilní. Pokud by se naopak použilo více než 12 V, regulátor napětí by se mohl přehřát a poškodit desku; proto je doporučený rozsah od 7 do 12 V. Pokud by však deska byla napájena přímo přes pin, stačí napětí 5 V, tato hodnota však musí být dodržena, čehož se docílí například tím, že je použit na převod napětí USB adaptér. Specifikace této desky je přehledně uvedena v tabulce 2.1.

Deska Arduino Mega 2560 obsahuje **resetovací pojistku**, která chrání USB porty počítače před zkratem a přetížením vysokým proudem. Přestože většina počítačů poskytuje vlastní ochranu, tato pojistka přidává další úroveň ochrany. Pokud by se do USB portu měl dostat proud vyšší, než je hodnota 500 mA, tato pojistka připojení automaticky přeruší, dokud není přetížení nebo zkrat odstraněn.

**Komunikace:** Deska Arduino Mega 2560 má několik možností, jak komunikovat s počítačem, s jinou deskou, nebo jinými mikrokontroléry. ATmega2560 poskytuje čtyři hardwarové UARTy pro sériovou komunikaci TTL (tranzistorově-tranzistorová logika); deska také podporuje sběrnici TWI (z anglického *Two Wire Interface*, neboli dvoudrátové rozhraní; tento název používá firma Atmel namísto chráněné značky I<sup>2</sup>C – *Inter-Integrated Circuit*, což je sběrnice vyvinutá firmou Philips [33]) a SPI komunikaci. Arduino Software (IDE) zahrnuje knihovnu Wire pro zjednodušení práce s linkou TWI a pro komunikaci SPI slouží SPI knihovna [2].

Procesor	ATmega2560
Provozní napětí	5 V
Doporučené vstupní napětí	7-12 V
Limit vstupního napětí	6-20 V
Digitální vstupně/výstupní piny	54 (z nichž 15 poskytuje PWM výstup)
Analogové vstupní piny	16
Proud na vstupně/výstupním pinu	20 mA
Proud pro pin s napětím 3,3V	50 mA
Flash paměť	256 kB, z nichž je 8 kB využíváno bootloaderem
SRAM paměť	8 kB
EEPROM paměť	4 kB
Rychlost hodin	16 MHz
Rozměry	101,52 x 53,3 mm
Váha	37 g

Tabulka 2.1: Technická specifikace desky Arduino Mega 2560. Převzato z [2].

## 2.9 Další vybrané platformy a mikrokontroléry

Tato podkapitola popisuje další vybrané vývojové platformy a mikrokontroléry, které by bylo možné použít k řízení světla a srovnává jejich výhody a nevýhody s platformou Arduino.

### Mikrokontroléry PIC

Mikrokontroléry PIC jsou programovatelné jednočipové mikropočítače vyráběné firmou *Microchip Tehcnology* sídlící v USA.

Tyto programovatelné součástky jsou určeny pro nejrůznější kontrolní a řídicí úlohy v průmyslových oborech, pro realizaci měřicích a řídicích systémů apod. Díky své univerzálnosti a malé velikosti nachází své uplatnění ve velkém množství aplikací [35].

Výhoda platformy Arduino oproti mikrokontrolérům PIC je zejména v tom, že poskytuje zdarma software, čímž se používání této platformy nesmírně rozšířilo. Je tak levnější a díky komunitě spousty uživatelů přispívajících různými příklady, přídatnými knihovny a nápady je také snadnější k programování. Arduino je také modernější a nabízí širokou škálu hotových desek k nejrůznějším účelům. Na deskách je již propojen procesor s veškerou přídatnou elektronikou a jsou tak připraveny k použití a není potřeba kupovat žádné jiné doplňky. Taktéž vývojové prostředí pro Arduino je velmi jednoduché a bezplatné.

### Platforma Raspberry Pi

Raspberry Pi je název malého jednodeskového počítače s deskou plošných spojů. Byl vyvinut v roce 2012 britskou nadací *Raspberry Pi Foundantion* s cílem podpořit výuku informatiky ve školách a seznámit studenty s tím, jak mohou počítače řídit různá zařízení. Primárním operačním systémem je Raspbian, což je verze linuxové distribuce Debian pro Raspberry Pi.

Jde o jednočipový počítač, který obsahuje vývod pro monitor (HDMI) a přes USB port je možné připojit klávesnici a myš. Na rozdíl od platformy Arduino je možné Raspberry Pi

použít nejen k ovládání různých zařízení, ale také k samotnému vývoji příslušných aplikací. Může sloužit také pro přístup k internetu nebo jej lze použít jako multimediální přehrávač [41].

Tak jako v platformě Arduino existují i různé modely Raspberry Pi s různou funkcí a různou pořizovací cenou.

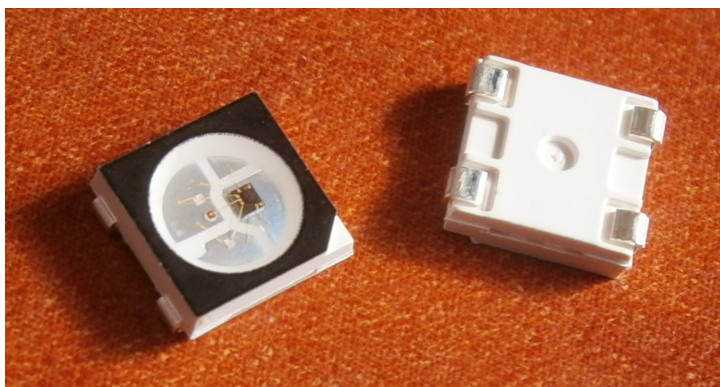
Raspberry Pi je na rozdíl od platformy Arduino mikropočítač (Arduino je pouze mikrokontrolér), má tedy i operační systém. Je komplikovanější a také výkonnější, zvládá obsluhovat více programů najednou. Arduino je oproti tomu levnější a jednodušší, má menší výpočetní výkon a dostupnou paměť, ale také nižší spotřebu energie a hodí se více pro opakující se jednoúčelové úlohy, kde například záleží i na přesném časování [17].

## 2.10 NeoPixel RGB LED moduly WS2812B

Výběr vhodného zdroje světla nebyl snadný, jelikož nabídka je velmi široká. Požadováno bylo zejména množství možných barevných kombinací a možnost ovládat barvu a intenzitu každého světelného zdroje zvlášť. Pro účel bakalářské práce a uvedené požadavky byl nejvhodnější výběr RGB LED modulů *WS2812B*, jelikož je tak výsledný produkt kompaktní, počet vodičů nízký, bez nutnosti použití odporů; práce také neobsahuje složitou řídicí elektroniku.

NeoPixel LED moduly jsou inteligentní programovatelné moduly, které obsahují na čipu kromě tří barevných LED diod RGB (červené, zelené a modré) ještě řadič *WS2812B* s interním PWM a paměť na 3 byty. Mají rozměr pouze 5x5 mm a jejich největší výhodou je, že každá LED může být ovládána samostatně co do barvy i intenzity světla. Výhodou také je, že jediný datový vodič stačí k ovládání teoreticky neomezeného počtu LED modulů.

Intenzita svitu každé ze tří barevných složek RGB je určena osmi bity, celkem je tedy k dispozici 24bitová informace o barvě, tj. 16 777 215 kombinací. LED diody mají navíc velmi vysoký jas, je však proto vhodné použít nějaký materiál pro rozptýlení světla – např. matné plexisklo.

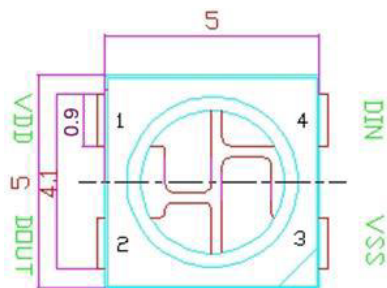


Obrázek 2.9: Modul RGB LED *WS2812B*.

Pro nastavení jasu každé ze tří diod RGB (červené, zelené a modré) na čipu stačí do modulu poslat po sériové lince 3 řídicí byty, z nichž každý nastaví jas příslušné diody v krocích od 0 do 255. Pokud ihned poté následují další data, jsou čipem ignorována a přeposlána dal-

šímu modulu v řadě. Tímto způsobem lze tedy jediným řídicím vodičem ovládat teoreticky nekonečný počet modulů, jak již bylo zmíněno výše, prakticky by ovšem měla obnovovací frekvence modulů dosahovat minimálně 30 Hz a délka přenosové trasy by neměla převýšit 5 m. Maximální přenosová rychlost je 80 kb/s [43]. Podrobný popis ovládání modulů je popsán níže.

Součástka má čtyři vývody – dva jsou nutné pro napájení (5 V), jeden pro vstup a jeden pro výstup dat. Z pohledu dat se součástky zapojují sériově za sebe, z hlediska napájení paralelně [10]. Výhodou je, že LED moduly i řídicí jednotka sdílí společný zdroj [43].



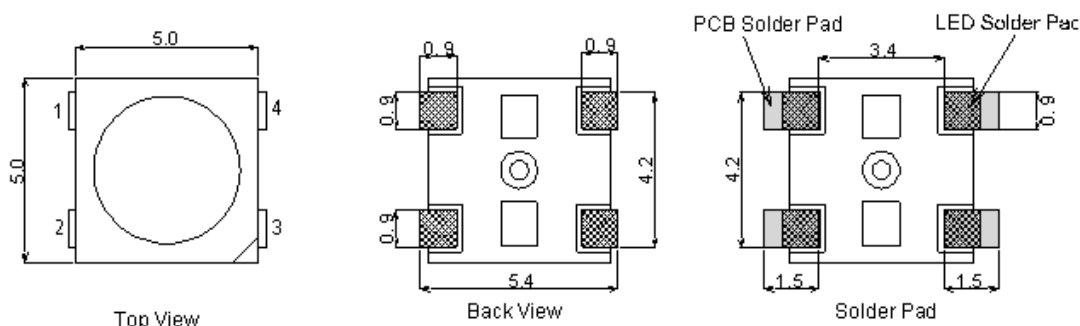
Obrázek 2.10: Rozložení pinů LED modulu *WS2812B*. Převzato z [43].

Number	Symbol	Popis funkce
1	VDD	Zdroj napájení LED
2	DOUT	Výstup řídicího datového signálu
3	VSS	Uzemnění
4	DIN	Vstup řídicího datového signálu

Tabulka 2.2: Popis pinů LED modulu *WS2812B*. Převzato z [43].

V obrázku 2.10 lze vidět rozložení pinů na LED modulu. Jejich popis je v tabulce 2.2.

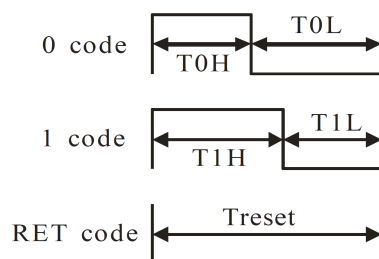
Vlnová délka červené barvy je 620~630 nm, zelené barvy 515~530 nm a modré barvy 465~475 nm. Svítivost červené (20 mA) je 550~700 mcd, zelené 1100~1400 mcd a modré 200~400 mcd.



Obrázek 2.11: Mechanické rozměry modulu *WS2812B*. Převzato z [43].

**Ovládání:** Na počátku je na vstupu po dobu nejméně  $50\ \mu\text{s}$  úroveň L (low – logická 0), která dá řadiči *WS2812B* najevo, že se má připravit pro příjem dat. Bity jsou reprezentovány pulzy s celkovou periodou  $1,25\ \mu\text{s}$ . Logickou jedničku představuje pulz o délce  $400\ \text{ns}$  v úrovni H (high – logická 1) a  $850\ \text{ns}$  v úrovni L; logickou nulu pulz o délce  $800\ \text{ns}$  v úrovni H a  $450\ \text{ns}$  v úrovni L. Výrobce řadiče uvádí, že všechny časy mají povolenou toleranci  $\pm 150\ \text{ns}$ .

Řadič přečte prvních 24 bitů, které dorazí na jeho vstup, a uloží je do své paměti. V každém z bytů barvy je nejvýznamnější bit (MSB, z anglického *Most Significant Bit*) poslán jako první. Dokud poté nebude na vstupu opět nejméně po dobu  $50\ \mu\text{s}$  úroveň L, řadič okamžitě propustí všechna další přicházející data na výstup. LED svítí stále podle dat předešlých, nová jsou zatím uložena v paměti. Nové nastavení barvy se na LED projeví až poté, co se řadič přepne do čekání na příjem dalších dat – úrovní L delší než  $50\ \mu\text{s}$ . Graf pulzů je znázorněn v obrázku 2.12, časy přenosů dat dále popsány a vysvětleny v tabulce 2.3. Při přenosové rychlosti  $800\ \text{kb/s}$  a počtu LED 73 trvá proces odesílání dat počínajíc první LED asi  $2\ \text{ms}$  [10].



Obrázek 2.12: Graf pulzů pro ovládání LED modulu *WS2812B*. Převzato z [43].

T0H	kód 0, vysoké napětí	$0,4\ \mu\text{s}$
T1H	kód 1, vysoké napětí	$0,8\ \mu\text{s}$
T0L	kód 0, nízké napětí	$0,85\ \mu\text{s}$
T1L	kód 1, nízké napětí	$0,45\ \mu\text{s}$
RET - RESET	nízké napětí	více než $50\ \mu\text{s}$

Tabulka 2.3: Časy přenosů dat. Převzato z [43].

Pokud by byl stav LED měněn každých  $20\ \text{ms}$ , je v praxi při uvedené přenosové rychlosti  $800\ \text{kb/s}$  počet LED modulů omezen asi na 600. Při změnách nedochází ke zhasnutí LED, jak by tomu bylo u principu posuvného registru. Nevýhodou je však poměrně velký datový tok, jelikož při změně stavu kterékoli LED je nutné vyslat tolik bitů, kolik je 24násobek pořadového čísla LED modulu. Mikrokontrolér si tedy také musí pamatovat, případně rychle spočítat stav všech LED, takže při standardním přístupu potřebuje paměť o velikosti 3 byty na každý LED modul (pokud nestačí ovládání LED podle nějakého jednoduchého algoritmu) [10]. Z toho také vyplývá omezení počtu ovládaných LED modulů; Arduino Uno dokáže ovládat až kolem 600 LED modulů, Arduino Mega asi 4x více – proměnné se ukládají do paměti SRAM (z anglického *Static Random Access Memory*), Uno má kapacitu SRAM  $2\ \text{kB}$  a Mega  $8\ \text{kB}$  [3].

LED moduly *WS2812B* se vyrábí v různých provedeních – nejen jako samostatné součástky, jak jsou použity pro tuto práci, ale také již připájené po jednom LED modulu na miniaturním plošném spoji, jako kruhové moduly opět po více kusech, nebo jako pásky s různými hustotami LED na metr, případně i jako čtvercové matice nebo dokonce jako shield na Arduino. U dlouhých pásků je pak vhodné vést data a napájení odděleně, protože kvůli odporu dochází k úbytkům napětí, který se na modrých a zelených LED projeví více, než na červených. Na konci pásku je poté nejen slabší jas, ale také převládá červená. Proto je vhodné napájení připojit od zdroje k pásku ve více bodech [10].

Data jsou namísto RGB odesílána v pořadí GRB (zelená, červená, modrá), přičemž je nejvyšší bit posílán jako první. Formát odesílaných dat je tedy následující:  
G7 G6 G5 G4 G3 G2 G1 G0 R7 R6 R5 R4 R3 R2 R1 R0 B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1 B0.

## Kapitola 3

# Zhodnocení současného stavu

Cílem práce bylo zvolit vhodný zdroj světla s více světelnými zdroji, navrhnout jeho ovládní pomocí mikropočítače a následně systém implementovat a demonstrovat na výsledném produktu. Při výběru světelného zdroje jsem se zaměřila na LED diody. Výběr jednotlivých součástí je popsán a odůvodněn v kapitole 3.2.

### 3.1 Analýza problému

V první řadě bylo nutné upřesnit, co bude vlastně výsledkem práce. Zadané téma nespécifikuje přímo, jak má výsledný produkt vypadat, a proto se nabízela spousta možností různých provedení. Mohl to být řetěz nebo maticový displej s LED diodami, soustava reflektorů, prosvícení skleněného předmětu zavěšeného na stěně, promítání na stěnu, inteligentní osvětlení do interiéru obytných prostor a automobilů, signalizační světla a další; druhů světelných zdrojů je nespočetně a dají se používat pro všemožné účely, jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách.

Řetěz s LED diodami se nabízel jako nejjednodušší varianta, ale takových produktů je již na trhu mnoho a toto provedení by nebylo příliš perspektivní. Taktéž projektů zabývajících se maticovými displeji je velké množství, takže by výsledná práce mohla vypadat jako napodobenina jiné a nezaujala by svou jedinečností. Momentálně jsou na světě aktuálním trendem různé druhy inteligentních osvětlení, které jsou velmi perspektivní, ale z finančních důvodů a z důvodu náročnosti testování produktu se výběr této možnosti nehodil pro tuto práci. Stejně tak práce se soustavou reflektorů by byla prostorově i finančně velmi náročná. Proto byla nejprve zvolena možnost podobná prvním dvěma, a tedy jakýsi závěsný panel na stěnu v podobě rámu obrazu se skleněným broušeným předmětem uprostřed, který by byl ze zadu nasvícen LED diodami. Nepodařilo se však sehnat vhodný skleněný předmět, a proto byl tento návrh zamítnut a byl vymyšlen návrh nový – rozmístění LED diod přímo do určitého tvaru a jejich upevnění na plexisklo; nyní stačilo zvolit tento vhodný tvar tak, aby umožňoval dostatečné množství různých kombinací světelných algoritmů.

Za nejhodnější byl zvolen tvar květiny, protože nabízí širokou škálu různých zobrazovacích režimů – jak rozsvěcování jednotlivých listů, tak dvojic listů ve tvaru čísla osm, ale díky souměrnému rozmístění LED diod také rozsvěcování soustředných kružnic, což by mohlo vytvářet taktéž zajímavé světelné efekty.

## 3.2 Použitý hardware

Poté, co byla ujasněna požadovaná podoba výsledného produktu, přišel na řadu výběr vhodného hardwaru. Některé součástky bylo samozřejmě nutné shánět již dříve, jelikož byly objednávány ze zahraničí a určitou dobu trvá, než je balíček doručen. Důležité bylo zejména zvolit vhodný světelný zdroj. Jelikož bylo požadováno, aby u každého světelného zdroje bylo možné jednotlivě měnit nejen barvu, ale i svítivost, byly nakonec zvoleny jako nejvhodnější světelný zdroj LED moduly s vlastním řadičem, které jsou podrobněji popsány v kapitole 2.10. Díky tomu je také ve výsledném produktu mnohem menší počet vodičů.

Jako nejvhodnější mikrokontrolér pro řízení LED byla zvolena platforma Arduino, zejména protože jde o velmi rozšířenou open-source elektronickou platformu, která je taktéž velmi dobře dokumentována a existuje k ní množství užitečných knihoven. Není tak nutné vyrábět plošný spoj a nabízí se také možnost nákupu případných hardwarových doplňků při případném rozšiřování práce. Další důvody a výhody oproti ostatním vybraným platformám a mikrokontrolérům byly popsány v kapitole 2.9.

Využití této platformy má velký potenciál a otevírá nám také spoustu možností, jak na tuto práci dále navazovat. Konkrétně byla zvolena deska Arduino Mega 2560 již zmíněná v kapitole 2.8. Jejími výhodami oproti ostatním deskám je zejména velká a tedy nijak neomezující kapacita paměti a množství pinů pro připojování přídavného hardwaru. Tento modul obsahuje mimo jiné USB převodník použitelný jak při programování modulu a ladění programu, tak při konečné komunikaci uživatele s počítačem.

Ujasnění a zkonkretizování světelného zdroje a řídicího mikrokontroléru bylo nejdůležitější, avšak zásadní bylo také si zvolit přídavný hardware, který bude k práci dále potřeba. Vzhledem k tomu, že je potřeba jednotlivé zobrazovací režimy nějak ovládat a přepínat, bylo nutné vybrat vhodný ovladač. Byl vybrán jednoduchý IR dálkový ovladač s přijímačem, který se připojí k mikrokontroléru. Ovladač obsahuje čísla 0–9, tlačítko s hvězdičkou a křížkem, čtyři šipky a tlačítko OK. Tato výbava pro ovládání výsledného produktu bohatě stačí.

Další součástí je dvouřádkový LCD displej, na kterém se zobrazuje aktuálně zvolený zobrazovací mód, datum, čas a teplota. Pro čas je také potřeba hodinový RTC modul (z anglického *real time clock*). Tento modul bude opatřen baterií a bude si pamatovat, kolik je hodin, i když bude zbytek obvodu odpojen od elektřiny. Pro zjištění teploty bude samozřejmě také potřeba teploměr.



# Kapitola 4

## Realizace

Tato kapitola popisuje funkci systému z pohledu uživatele a průběh realizace práce od návrhu až po fyzické zpracování, testování a programování algoritmů.

### 4.1 Funkce systému

Výsledkem práce je informační panel disponující různými světelnými zobrazovacími režimy, mezi kterými má uživatel možnost přepínat pomocí dálkového ovladače. Panel je opatřen stojanem, díky kterému jej lze postavit např. na stůl. Jeho zobrazovací plochu tvoří plexisklo s matnou fólií pro rozptyl světla.

V zobrazovacích režimech je cyklicky měněna barva i jas jednotlivých LED diod. Důležitým požadavkem je možnost měnit svítivost i barvu každé LED diody zvlášť. Panel také zobrazuje datum a čas, kromě obecných zobrazovacích režimů obsahuje také režim reagující barevností na teplotu a režim s reakcí na čas, jež zobrazuje každou minutu určitý efekt. Jednotlivé efekty jsou podrobně popsány v kapitole 4.6.

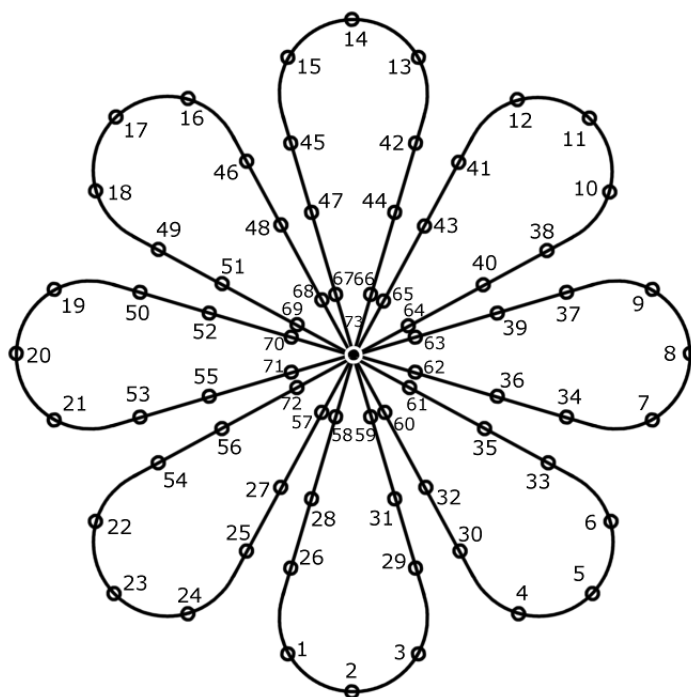
Panel tvoří samostatnou jednotku a není třeba jej připojovat k počítači, protože sám o sobě tvoří vestavěný systém.

Následující kapitoly popisují realizaci výsledného panelu od návrhu až po jeho fyzické zpracování.

### 4.2 Grafický návrh

Před samotnou fyzickou realizací práce bylo potřeba vytvořit grafický návrh, který by definoval rozložení LED modulů do požadovaného tvaru na určené pozice. Návrh byl nejprve vytvořen na papíře v měřítku 1:1 pro vytvoření reálné představy o rozměrech. Poté bylo nutné navrhnout rozmístění jednotlivých LED modulů na desky plošných spojů (DPS) a jejich vzájemné propojení. Jako nejvhodnější vzhledem k velikosti jednotlivých DPS a přehledné kabeláži bylo zvoleno zapojení v pořadí modulů znázorněném v obrázku 4.1.

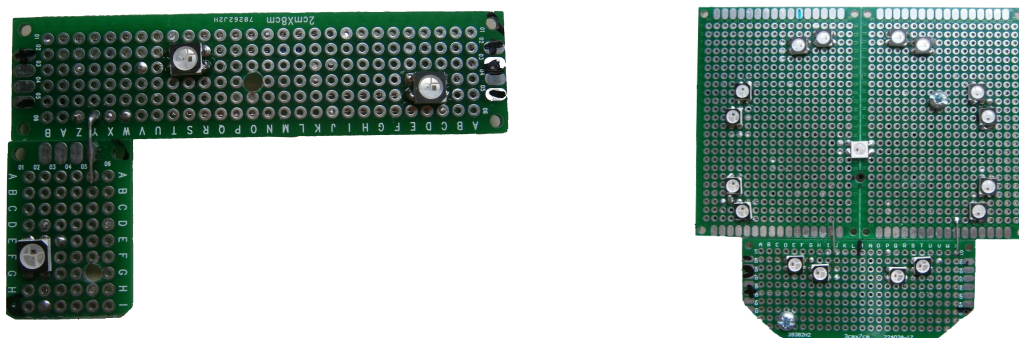
Byla snaha zvolit zejména vhodný tvar, díky kterému by bylo možné tvořit různé druhy zobrazovacích režimů. Proto je výsledný návrh osově i středově symetrický a umožňuje tak režimy využívající otáčení po kružnici, rozsvěcování soustředných kružnic i jednotlivých listů květiny.



Obrázek 4.1: Grafický návrh rozmístění barevných modulů s jejich indexy.

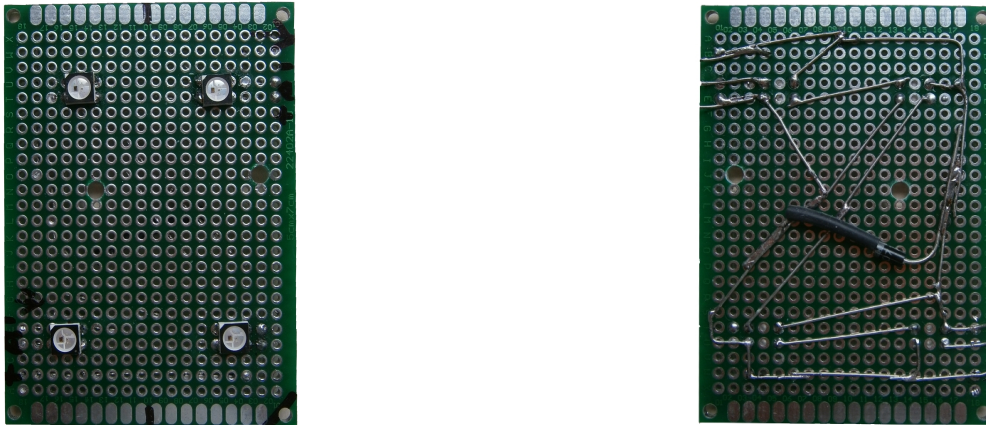
### 4.3 Mechanické uspořádání

Pro realizaci jsou použity univerzální oboustranně prokovené desky plošných spojů, na které jsou jednotlivé moduly s LED připájeny na pozice podle grafického návrhu. Byly navrženy tři typy desek – krajní se třemi, střední se čtyřmi a středová se sedmnácti LED moduly – viz obrázky 4.2 a 4.3. Toto zpracování bylo zvoleno proto, aby bylo možné jednoduše vyměnit, případně opravit jednotlivé DPS například při nefunkčnosti některého z LED modulů. Malé plošné spoje jsou také cenově dostupnější a praktičtější než jeden velký.



Obrázek 4.2: Náhled krajního typu desky a středové desky.

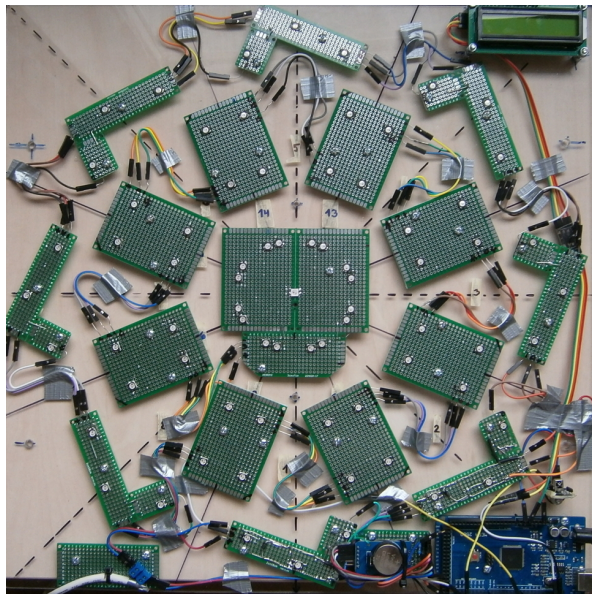
Desky plošných spojů jsou umístěny a připevněny na plexiskle opatřeném stojanem na stůl. LED moduly a LCD displej jsou napájené univerzálním zdrojem USB AC230 V/DC5 V, 2 A. Pro předpokládaný střední proud 20 mA pro jeden modul a počet 73 modulů stačí napájecí zdroj s proudem 1,5 A, takže použitý zdroj vyhovuje.



Obrázek 4.3: Náhled středního typu desky zředu a zezadu.

Do Arduina je přivedeno ze zdroje napájení místo 5 V napětí 4,3 V. Jde o úbytek na přechodu diody, která zabezpečí proudovou ochranu Arduina tak, aby obvod nebyl přetížen nadměrným proudem, které vyžaduje napájení diod.

V obrázku 4.3 vpravo je také vidět připájená dioda pro ochranu desky před zničením při přepólování.



Obrázek 4.4: Rozmístění součástek na plexiskle.

V obrázku 4.4 lze vidět konečné rozmístění hardwaru na plexiskle. Obrázek zobrazuje výsledný produkt bez předního plexiskla určeného k rozptylu světla a skrytí hardwaru.

## 4.4 Fyzické zpracování

Pro fyzické zpracování byly použity tyto součástky:

- Arduino Mega 2560,
- moduly *WS2812B*,
- IR přijímač a ovladač,
- LCD displej,
- RTC modul,
- teploměr.

Arduino Mega 2560 bylo již podrobně popsáno v kapitole 2.8 a LED modulům *WS2812B* je věnována kapitola 2.10.

### Pájení

Nejprve bylo potřeba připájet LED moduly a jejich propojení na jednotlivých DPS. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.10, jednotlivé moduly jsou z hlediska dat připojeny sériově, napájení a uzemnění jsou pochopitelně zapojeny paralelně.

Výkonové LED moduly bylo nutné při pájení průběžně chladit, aby nedošlo k poškození jejich čipu. Na každou desku byla také z důvodu ochrany LED modulů proti přepólování připájena přepětová ochrana v podobě diody.

Při pájení byla namísto transformátorové využita moderní páječka s nastavitelnou teplotou hrotu, aby nedošlo k poškození čipů na LED modulech. Moduly jsou opatřeny k pájení pouze miniaturními plíšky, jedná se tedy o součástky s označením SMD (z anglického *surface mount device*), tedy součástky určené pro povrchovou montáž. Tento typ hardwaru se obvykle pájí strojově, jelikož ruční pájení je náročné na přesnost; pro tuto práci byly však všechny součástky pájeny ručně.

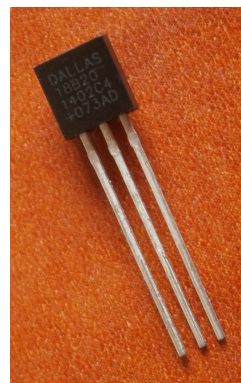
Jednotlivé desky plošných spojů jsou propojeny kabely, které jsou na obou koncích opatřeny konektory. Stejnými kabely jsou propojeny také ostatní součástky s deskou Arduino.

### Hardwarové komponenty

Pro ovládání světelného panelu jsou nejdůležitějšími komponentami **IR přijímač a ovladač**. Je to způsob, jakým uživatel interaguje s informačním panelem. Tlačítka 1–9 se spouští jednotlivé módy. Podrobný popis ovládání je uveden v následující kapitole. Ovladač je zobrazen na obrázku 4.5 vlevo.

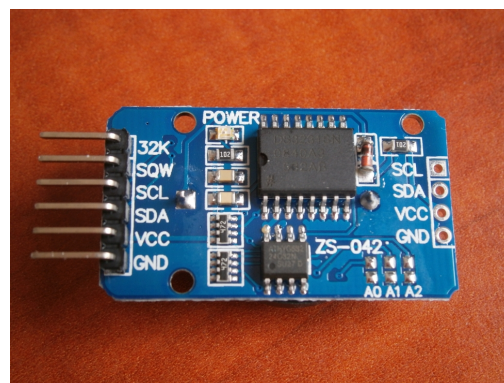
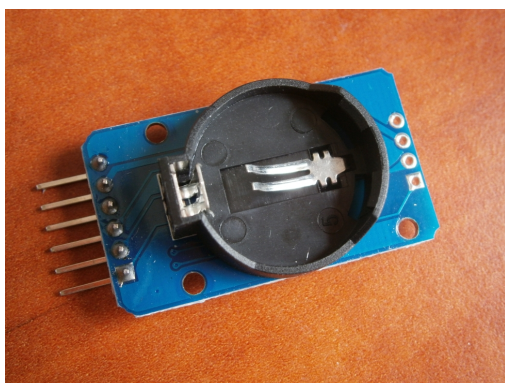
Další důležitou součástí panelu je **LCD displej**, který uživatele informuje o aktuálně spuštěném zobrazovacím režimu, datu a času, případně o aktuální teplotě naměřené teploměrem. Použitý displej má dva řádky po šestnácti znacích a je žlutě podsvícen. Arduino s displejem komunikuje pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C. Displej má přidělenou svoji jednoznačnou adresu, pomocí které je identifikovatelný mezi všemi ostatními komponentami využívajícími sběrnici I<sup>2</sup>C. Adresa displeje je 0x3F.

**RTC modul** slouží k měření reálného času. Obsahuje integrovaný krystalový oscilátor a krystal. V zařízení je umístěna baterie, která zajistí, že modul udrží čas i po vypnutí napájení. Ukládá v sobě informace o aktuálních sekundách, minutách, hodinách, dnech v



Obrázek 4.5: Dálkový ovladač IR a teploměr *DS18B20*.

týdnu, datech, měsících a letech. Datum je v modulu automaticky nastaven podle toho, zda se jedná o měsíc se 30 nebo 31 dny, včetně ošetření přestupného roku. Hodiny umí pracovat ve 24hodinovém i 12hodinovém módu s indikátorem AM/PM. Modul také disponuje dvěma programovatelnými časovými alarmy za den. Adresa a data se posílají sériově pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C. Při běžných teplotách od 0° C do 40° C má přesnost ±2 ppm (miliontiny sekundy). Vyžaduje napětí 3,3 V [21]. Pro práci s modulem byla využita knihovna [12]. RTC modul je zobrazen na obrázku 4.6.



Obrázek 4.6: Modul hodin RTC (*Real Time Clock*).

Aby mohl panel zobrazovat teplotu a reagovat na ni, musí obsahovat také **teploměr**. Vybraný typ teploměru (*DS18B20*) měří teploty v rozsahu -55° C až 125° C. Rozlišení teplotního senzoru je nastavitelné uživatelem od 9 do 12 bitů, což odpovídá zvyšování teploty po hodnotě 0,5° C až 0,0625° C. Standardně je nastaveno 12bitové rozlišení. Garantovaná přesnost teploměru je ±0,5° C [20]. Pro práci s teploměrem byla využita knihovna dostupná z [7].

Teploměr s Arduinem komunikuje pomocí sběrnice 1-Wire, k čemuž byla využita knihovna OneWire [11]. Teploměr je zobrazen na obrázku 4.5 vpravo.

## 4.5 Uživatelské rozhraní

Panel se ovládá pomocí infračerveného ovladače, kterým lze přepínat zobrazovací módy a nastavovat čas a hodiny. Přepnout do jiného módu lze v průběhu kteréhokoli jiného světelného módu. V módu nastavování data a času je potřeba nejdříve zadat čas a datum ve formátu hh-mm dd-mm-yyyy, přičemž nelze zadat rok nižší než 2000 a vyšší než 2099. Formát data a času je ošetřen proti zadání nesprávných hodnot. V průběhu jejich nastavování nelze přepnout do jiného módu ani používat jiná tlačítka, než číselná. Po nastavení program spustí mód, který je implicitně zvolen i při prvním spuštění – mód číslo 3.

Tlačítko na ovladači	Hexadecimální kód	Funkce
1	FFA25D	Mód 1 – Propeller 4
2	FF629D	Mód 2 – Propeller 2
3	FFE21D	Mód 3 – Flower
4	FF22DD	Mód 4 – Concentric Circles
5	FF02FD	Mód 5 – Rainbow
6	FFC23D	Mód 6 – Rainbow Spiral
7	FFE01F	Mód 7 – Tails
8	FFA857	Mód 8 – Temperature
9	FF906F	Mód 9 – Time
*	FF6897	Spuštění nastavování data a času
0	FF9867	Vypnutí módu
#	FFB04F	Bez funkce
↑	FF18E7	Zvýšení jasu
←	FF10EF	Předchozí zobrazovací režim
→	FF5AA5	Následující zobrazovací režim
↓	FF4AB5	Snížení jasu
OK	FF38C7	Bez funkce

Tabulka 4.1: Přehled jednotlivých tlačítek IR ovladače, jejich kódů a funkcí.

V tabulce 4.1 lze vidět přehled hexadecimálních kódů reprezentujících tlačítka z IR ovladače a přehled funkcí, které tato tlačítka spouštějí. Některá tlačítka jsou ponechána bez funkce a mohou tak sloužit k případným rozšířením práce.

Pro přepínání zobrazovacích módů lze použít buď čísla nebo šipky doprava a doleva. Jednotlivé módy jsou podrobně popsány v kapitole 4.6.

Datum a čas jsou zobrazovány ve všech světelných módech na druhém řádku LCD displeje ve formátu dd.mm.yyyy hh:mm. Teplota je zobrazovaná v módu **Temperature** s přesností na 2 desetinná místa ve stupních Celsia. Stisknutím tlačítka 0 se vypne aktuální zobrazovací mód a na LCD displeji se vypíše naměřená teplota, datum a čas.

## 4.6 Algoritmy řízení světel

K řízení světel byla využita knihovna `light_ws2812` dostupná z [29]. Knihovna zahrnuje soubory `light_ws2812.cpp`, `WS2812.h`, `WS2812.cpp` a `cRGB.h`. Pro snadnější a intuitivnější práci využívá soubor `cRGB.h` k ovládání LED barevný model HSV zmíněný v kapitole 2.2.

### Světelné módy

Během všech světelných módů je na LCD displeji vypsáno číslo a název právě zobrazovaného módu, ve druhém řádku se ve většině módů zobrazuje aktuální datum a čas; pouze u módu číslo 8, který reaguje na teplotu, je tento údaj nahrazen aktuální teplotou naměřenou teploměrem.

Jas barvy lze u většiny módů ovládat šipkami nahoru a dolů na ovladači, což způsobí zvýšení, případně pokles hodnoty globální proměnné `brightness` o 5. Minimální hodnota jasu je 1 a maximální činí 150.

U módů, kde je hodnota jasu dána přesně funkcí, a její úpravy by poškodily požadovaný světelný efekt, jas explicitně ovladačem měnit nelze. Tyto módy pracují s různými rozestupy jasu, které by se snížením jasu zneviditelnily. Jde o módy 1 (Propeller 4), 3 (Flower) a 7 (Tails).

Zobrazovací módy jsou jednotlivě popsány níže:

- **Propeller 4** je mód spustitelný stisknutím tlačítka 1 na dálkovém ovladači. Obsluhuje jej funkce `Mode_Propeller4()`. Mód zobrazuje dvojitou vrtuli točící se proti směru hodinových ručiček, která mění odstín své barvy a také se postupně rozsvěcí a zhasíná. Používá pomocné funkce `SetLeaf()`, která podle zadaného parametru nastaví do globální proměnné `actual_leaf` indexy LED na pozicích požadovaného listu, a funkci `ShineLeaf()`, která rozsvítí list nastavený ve zmíněné globální proměnné na barvu danou proměnnou `color`.  
V tomto módu je jas LED v jednotlivých fázích pevně daný a nelze jej proto upravovat tlačítka se šipkou nahoru a dolů na ovladači.
- **Propeller 2** se pouští klávesou 2 a je představován vrtulí, která se po spuštění postupně roztáčí a poté se točí konstantní rychlostí. Mód je obsluhován funkcí `Mode_Propeller2Start()`, ve které se podle příznaku rozhodne, zda jde o start módu, a podle toho se vrtule točí konstantní nebo zvyšující se rychlostí; k tomu je využívána funkce `Mode_Propeller2`. Vrtule postupně mění barvu, obdobně jako u předchozího módu.
- Mód **Flower** je spuštěný po stisknutí klávesy 3. Obsluhuje jej funkce `Mode_Flower()`, jež využívá pro rozsvěcení LED funkci `ShineLeaf_Colorful`, která nastaví barvu LED a postupně vykresluje LED diodou tvar květiny s barevnou slábnoucí stopou osmi dalších LED. Po vykreslení tvaru se směr otáčí a LED diody „obíhají“ stopu v opačném směru.
- **Concentric Circles** se spustí stisknutím klávesy 4. Jde o zobrazovací mód, který představují postupně se rozsvěčující soustředné kružnice od nejmenší po největší. Vše obsluhuje funkce `Mode_ConcentricCircles`, ze které je dále volána funkce pro rozsvěcení jednotlivých kružnic (`ShineCircle`). Požadovaná kružnice je dána parametrem funkce.

Jednotlivé kružnice jsou uloženy v globální struktuře `Circle` s názvy `circle0` až `circle4`. Ve struktuře je také uložen index středové LED diody.

- **Rainbow** je 5. mód v pořadí obsluhovaný funkcí `Mode_RainbowCircle`. Představuje jej nejmenší kružnice a středová LED, přičemž všechny LED postupně mění svoji barvu. Tento mód používá nejmenší hodnotu `sleep` předávanou do funkce `delay` a vyskytl se u něj proto problém s přerušováními popsany dále v kapitole 4.7.
- Šestý mód má název **Rainbow Spiral** a je obsluhován funkcí `Mode_RainbowSpiral`, která postupně po jedné LED vysvítí stopu spirály od největších kružnic až po střed. Každé LED je nastaven jiný barevný odstín. Lze zde samozřejmě také měnit jas pomocí ovladače.
- Dalším je mód **Tails** s číslem 7, který zobrazuje dvě LED, které „cestují“ po směru hodinových ručiček, a dvě, které se pohybují proti směru hodin, přičemž všechny za sebou zanechávají slábnoucí stopu. Mód obhospodařuje funkce `Mode_Tails` a pomocné funkce `ClockwiseTail` a `CounterClockwiseTail`, jež zajišťují správné vykreslení slábnoucí stopy. Funkcí `ChangeColor` je do jednotlivých LED poslána hodnota požadované barvy v závislosti na zadaných parametrech.
- **Temperature** je osmý mód. Obsluhuje jej funkce `Mode_Temperature()`. Na rozdíl od ostatních módů nezobrazuje datum a čas, ale aktuální teplotu naměřenou teploměrem. V tomto módu svítí všechny LED stejnou barvou, která se mění podle teploty. Rozsah teplot je v rozmezí od 22 do 29° C namapován vestavěnou funkcí `map` na rozsah barevných odstínů od 0 do 359. Pro rozsah teplot jsou předpokládány pokojové podmínky.
- Poslední zobrazovací mód má název **Time** a zajišťuje jej funkce `Mode_Time()`. Spouští se tlačítkem č. 9. Tento mód reaguje na čas tím způsobem, že každou celou minutu vykreslí z LED modulů celou květinu. Jinak vykresluje jednotlivé listy, které „obíhají“ kružnici po směru hodinových ručiček.

Pro vypnutí zobrazovacích módů lze použít klávesu s číslem 0, která pouze vypíše na LCD displej aktuální naměřenou teplotu, datum a čas.

## 4.7 Programové detaily

Program vlastního řízení modulů pro Arduino je napsán v jazyce C++, pro programování a ladění bylo použito prostředí Atmel Studio 7 (balík SW volně ke stažení), do kterého bylo nutné nainstalovat plugin Visual Micro, který do programu implementuje funkce pro vývoj Arduina.

Každý program Arduino obsahuje dvě hlavní funkce – funkci `setup()`, která se volá na začátku programu, a hlavní funkci `loop()` určené k běhu programu. Ve funkci `setup()` se nachází inicializace globálních proměnných, nastavují se vstupní a výstupní piny a podobně. Je to funkce, která je volána jen jednou, a to po každém zapnutí nebo resetu Arduina. Ve funkci `loop()` následně neustále cyklí hlavní program, který aktivně ovládá desku Arduino. Program cyklí do té doby, než je deska vypnuta [31].



Hlavní implementační program celého systému řízení světel je soubor `Light_controller.ino` a hlavičkový soubor `Light_controller.h`. Hlavičkový soubor obsahuje použité knihovny, definuje konstanty pro IR přijímač, definuje vstupně/výstupní piny a jiné konstanty a proměnné potřebné pro správný běh programu.

Na začátku funkce `setup()` je funkcí `Serial.begin(57600)` nastavena přenosová rychlost dat komunikace SPI na hodnotu 57600 Bd (baud je počet bitů za sekundu [15]). Poté dojde k inicializaci času Arduina na čas načtený z RTC modulu. Pro práci s časem byla použita knihovna `Time` dostupná z [13]. Následuje inicializace teploměru a LCD displeje a nastavení výstupního pinu pro LED moduly. Pro práci s LCD displejem se používá knihovna `LiquidCrystal I2C library` dostupná z [8]. Dále je pomocí funkce `ClearLEDs()` do všech LED modulů poslán příkaz pro zhasnutí a funkcemi `FillCircles()` a `InvertFlower()` jsou vyplněny globální pole proměnných pro zobrazovací funkce s indexy LED. Následně dojde k inicializaci IR ovladače, k jehož funkci je využívána knihovna `IR Remote Arduino library` dostupná z [24]. Poté se ve funkci `setup()` povolí přerušení příkazem `attachInterrupt`, které se vyvolá při změně hodnoty na pinu nastaveném pro IR přijímač.

Přerušení je vstupní metoda, která informuje o změně stavu některého z pinů. Arduino Mega 2560 má šest externích přerušení na digitálních pinech 2, 3, 18, 19, 20 a 21. Přerušení musí být inicializováno ve funkci `setup()` a musí užívat speciální funkci, která provádí tzv. obsluhu přerušení (anglicky *ISR*, neboli *Interrupt Service Routine*). Tato funkce se spustí pokaždé, když je vyvoláno přerušení. Vyvolání přerušení může být nastaveno na změnu hodnoty pinu z nízké (*LOW*) na vysokou (*HIGH*), tj. příznak *RISING* (rostoucí hodnota), nebo naopak na změnu hodnoty z vysoké na nízkou, tj. příznak *FALLING* (klesající hodnota), nebo dále jednoduše na změnu hodnoty pinu jakýmkoli směrem, tj. příznak *CHANGE* (změna) [31].

Vyvolání přerušení spustí funkci `decode_keys()`, jež dekóduje podle hexadecimální hodnoty přečtené pomocí IR přijímače, která klávesa na dálkovém ovladači byla stisknuta. Toto se provádí pomocí konstrukce `switch-case`. Navracené hexadecimální hodnoty byly zjišťovány experimentálně testováním kláves a kontrolou výpisů programu a jsou uvedeny v tabulce 4.1. Funkce ukládá příslušnou stisknutou klávesu do globální proměnné `pressedkey`. Pokud byla hodnota stisknuté klávesy změněna, nastaví se globální příznak `wasinterrupt` indikující přerušení na hodnotu `true`. Tato proměnná je dotazovaná v každém zobrazovacím módu a je tak možné přerušit jeho činnost přepnutím do jiného módu.

Hlavní programová funkce `loop()` začíná kontrolou, zda nedošlo k přerušení. Pokud ano, vymaže se obsah LCD displeje a vypnou se všechny LED. Poté se kontroluje, která klávesa byla na ovladači stisknuta. Při prvním spuštění programu je nastavena implicitní hodnota stisknuté klávesy na hodnotu 3. Při stisknutí kteréhokoli číselného tlačítka se nastaví kurzor na LCD displeji na první řádek a vypíše se název módu, který je stisknutím konkrétní klávesy spuštěn. Na druhý řádek se podle zvoleného módu vypíše buď datum a čas, nebo teplota. Poté se spustí funkce obsluhující daný zobrazovací mód. Algoritmy zobrazovacích režimů jsou podrobně popsány v kapitole 4.6.

**Problém s přerušeními:** Při realizaci řízení objektu pomocí dálkového ovládání došlo v jednom z řídicích módů, ve kterém se měnilo nastavení modulů nejčastěji, k nefunkčnosti přijímání signálu z IR ovladače. Bylo to způsobeno knihovnou `RGB` modulů, která při své komunikaci zakazuje přerušení, a tím blokovala činnost dálkového

ovládání do té míry, že bylo v tomto módu nefunkční. Na radu vedoucího bakalářské práce, prof. Dr. Ing. Zemčíka, bylo provedeno rozdělení úseků programu na kritické, kde přerušení muselo být zakázáno, a čekací smyčky, kde bylo nově přerušení povoleno. Tímto způsobem byl ovladači IR poskytnut dostatečně dlouhý čas pro příjem řídicí sekvence.

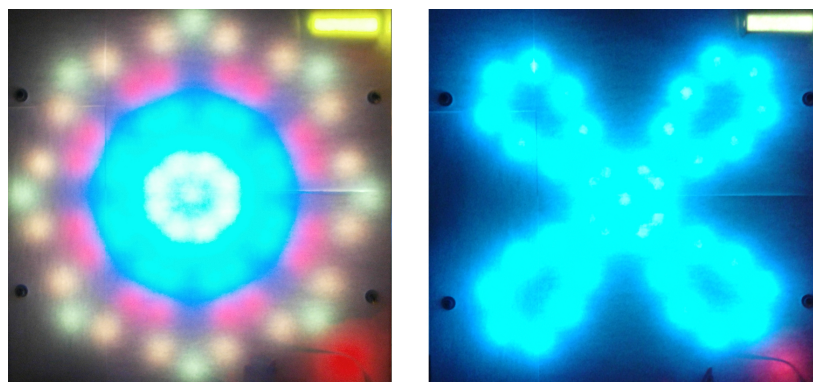
Změny byly provedeny ve funkci `WS2812::ws2812_sendarray_mask` v souboru `light_ws2812.cpp`, kde byl příkaz `cli()` zakazující přerušení přesunut na začátek smyčky `while` a na konci smyčky byla přerušení opět povolena příkazem `sei()`.

## 4.8 Testování

Po napájení LED modulů na desku plošných spojů byly všechny vodiče zkontrolovány pomocí ohmmetru – zda není někde přerušen kontakt, nebo zda by nedošlo ke zkratu mezi vodiči. Po přeměření ohmmetrem byla každá deska zvlášť kontrolována nahráním testovacího programu pro střídání všech tří barev LED, čímž se ověřila jak správnost pájení, tak funkčnost jednotlivých LED na každém modulu RGB.



Obrázek 4.7: Světelný panel bez předního krytu.



Obrázek 4.8: Světelný panel opatřený silným difuzérem.

Jas LED modulů byl testován experimentálně. LED diody jsou velmi silné, nejvyšší hodnota jejich jasu je 255, pro lidské oko je však tato svítivost již velmi nepříjemná. Jako nejideálnější byl zvolen nejvyšší nastavitelný jas na hodnotu 150, přičemž při spuštění je jas implicitně nastaven na hodnotu 100 a lze jej pomocí ovladače zvýšit.

Čitelnost textu na LCD displeji byla taktéž testována a text je nejlépe čitelný do vzdálenosti maximálně 3 metrů, poté se již stává nečitelným.

Součástí testování bylo také porovnání zobrazování světelných režimů bez předního krytu a s ním. Na obrázku 4.7 lze vidět nekrytý panel a na obrázku 4.8 je pro porovnání zobrazen objekt krytý plexisklem opatřeným difuzérem, tedy plochou, která rozptýlí světlo.

Snadnost a intuitivnost ovládání výsledného produktu byla po dokončení testována na vzorku deseti osob, z nichž se u nikoho neobjevily s ovládáním žádné potíže. Úspěšnost reakce na stisknutí tlačítka činí ve vzdálenosti 4–5 m asi 90 %.

# Kapitola 5

## Závěr

Cílem práce bylo vytvořit vestavěný systém schopný řídit zdroj světla reprezentovaný LED diodami. Byl prostudován způsob řízení světel mikropočítačem a srovnány různé platformy a mikrokontroléry a vhodnost jejich použití pro daný účel. Poté byl navržen zdroj světla s více světelnými zdroji, což jsou třibarevné LED moduly, které tvoří výsledný světelný panel. Pro jeho ovládání byla jako nejvhodnější zvolena platforma Arduino, která je velmi rozšířená a moderní. Důležitá byla také volba vhodných LED modulů, jelikož jedním z požadavků bylo mít možnost měnit barevnost i jas každé LED zvlášť.

Panel nabízí devět zobrazovacích světelných režimů, mezi kterými má uživatel možnost přepínat pomocí dálkového ovladače buď volbou čísla, nebo přepínáním šipkami doprava a doleva. Ovladačem lze také ovládat jas LED modulů, případně nastavit datum a čas zobrazovaný na LCD displeji. Displej kromě data a času zobrazuje také název módu a teplotu.

Celý objekt je opatřen stojanem, při mírné modifikaci by jej však bylo možné i pověsit na stěnu.

K produktu se nabízí široká škála možností různých rozšíření, a to zejména díky využití velmi rozšířené platformy Arduino, která sama nabízí různé přídatné moduly a shieldy, z nichž jsou některé zmíněné v kapitole 2.7. Možnostmi navázání na mou práci by mohly být následující příklady:

- **Mobilní aplikace**

Při vývoji mobilní aplikace by bylo možné k ovládání LED modulů použít buď Bluetooth nebo WiFi.

K Arduinu existují Bluetooth moduly určené k ovládání přes sériovou linku. Lze také použít Bluetooth shieldy, ty jsou však o něco dražší.

- **Internetová aplikace**

Moduly by také mohly být ovládány přes LAN připojení; pomocí internetové aplikace.

- **Reakce na zvuk a hudbu**

Při připojení reakce na zvuk, případně i hudbu, by se práce dala využít jako užitečná pomůcka zejména pro sluchově postižené, nebo i do prostor se zvýšeným hlukem. Bylo by tak možné převádět různé zvukové notifikace na výrazné světelné efekty, například by byl vytvořen speciální efekt pro upozornění na zvonění zvonku, jiný pro upozornění na příchozí hovor při zachycení signálu z mobilu.

Podobným způsobem by bylo možné také vyřešit převod hudby na světelný vjem, kdy by se např. frekvence zvuku zobrazila jako barva, intenzita jako jas.

- **Připojení interaktivity na přiblížení pozorovatele**

Pomocí pohybového čidla by bylo taktéž možné připojit interaktivitu na přiblížení pozorovatele v podobě nového režimu, případně v podobě efektů s režimy existujícími.

Vlastním přínosem byla analýza problematiky zdroje světla řízeného mikropočítačem a vytvoření funkčního návrhu vestavěného systému a jeho realizace vhodným spojením dostupného hardwaru ve výsledný funkční produkt.

# Literatura

- [1] LED žárovky. T-LED, [Online; navštíveno 28.04.2017].  
URL <https://www.t-led.cz/info/led-zarovky.html>
- [2] Arduino Mega 2560. 2017, [Online; navštíveno 02.05.2017].  
URL <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [3] Arduino Memory. 2017, [Online; navštíveno 01.05.2017].  
URL <https://www.arduino.cc/en/tutorial/memory>
- [4] Arduino Products. 2017, [Online; navštíveno 29.04.2017].  
URL <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- [5] Introduction to Arduino. 2017, [Online; navštíveno 29.04.2017].  
URL <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [6] Atmel ATmega2560 datasheet. [Online; navštíveno 29.04.2017].  
URL [http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf)
- [7] Frank de Brabander, J. P. S.: Arduino Temperature Control library. Github, Duben 2017, [Online; navštíveno 07.05.2017].  
URL <https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>
- [8] Frank de Brabander, J. P. S.: LiquidCrystal I2C library. Github, Březen 2017, [Online; navštíveno 07.05.2017].  
URL <https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>
- [9] Dvořáček, V.: Světelné zdroje – světelné diody. *SVĚTLO*, Květen 2005: s. 68–71.
- [10] Černý, M.: LED NeoPixel – jak na ně s Arduinem. Leden 2015, [Online; navštíveno 29.04.2017].  
URL <http://robodoupe.cz/2015/led-neopixel-jak-na-ne-s-arduinem/>
- [11] OneWire library. Únor 2017, [Online; navštíveno 11.05.2017].  
URL <https://github.com/PaulStoffregen/OneWire>
- [12] RTC DS3232 and DS3231 library. Duben 2017, [Online; navštíveno 11.05.2017].  
URL <https://github.com/JChristensen/DS3232RTC>
- [13] Time library for Arduino. Březen 2017, [Online; navštíveno 11.05.2017].  
URL <https://github.com/PaulStoffregen/Time>

- [14] Hirzel, T.: PWM. 2017, [Online; navštíveno 05.05.2017].  
URL <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>
- [15] Hrbáček, J.: *Komunikace mikrokontroléru s okolím – 1. díl*. BEN – technická literatura, 1999, ISBN 80-86056-42-2.
- [16] Hromádka, M.: *Modul řízení LED osvětlení*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Květen 2011.  
URL <http://hdl.handle.net/11012/7729>
- [17] di Justo, P.: Raspberry Pi or Arduino Uno? One Simple Rule to Choose the Right Board. Prosinec 2015, [Online; navštíveno 15.05.2017].  
URL <http://makezine.com/2015/12/04/admittedly-simplistic-guide-raspberry-pi-vs-arduino/>
- [18] Koblížek, R.; aj.: LED. Wikipedie, Květen 2017, [Online; navštíveno 14.05.2017].  
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [19] Kršek, P.: Studijní opora - Základy počítačové grafiky. FIT VUT v Brně, 2006, [Online; navštíveno 30.04.2017].  
URL [https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/course-files-st.php.cs?file=%2Fcourse%2FIZG-IT%2Ftexts%2Fizg\\_opora.pdf](https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/course-files-st.php.cs?file=%2Fcourse%2FIZG-IT%2Ftexts%2Fizg_opora.pdf)
- [20] Maxim Integrated Products, I.: *DS18B20 – Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. 2015, [Online; navštíveno 16.05.2017].  
URL <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [21] Maxim Integrated Products, I.: *DS3231 – Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal*. 2015.
- [22] Michalec, L.: Možnosti stmívání LED světél. Únor 2013, [Online; navštíveno 29.04.2017].  
URL <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/jednoduche-stmivani-svetel.html>
- [23] Pihan, R.: Barevný model HSB (HSV). 2011, [Online; navštíveno 30.04.2017].  
URL [http://fotoroman.cz/glossary/3\\_hsb.htm](http://fotoroman.cz/glossary/3_hsb.htm)
- [24] Rafi Khan, M. M.: Infrared remote library for Arduino. Github, Duben 2017, [Online; navštíveno 07.05.2017].  
URL <http://github.com/shirriff/Arduino-IRremote>
- [25] Arduino Mega R3. [Online; navštíveno 29.04.2017].  
URL [https://www.robotics.org.za/image/data/Arduino/Arduino%20Boards/arduino\\_mega\\_r3\\_002\\_hd.jpg](https://www.robotics.org.za/image/data/Arduino/Arduino%20Boards/arduino_mega_r3_002_hd.jpg)
- [26] Sokanský, K.; Krejčí, P.; Nezval, J.; aj.: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení. 2003, [Online; navštíveno 29.04.2017].  
URL [http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni\\_ridici\\_systemy%20-%202003.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni_ridici_systemy%20-%202003.pdf)
- [27] Sokanský, K.; Novák, T.; Bálský, M.; aj.: *Světelná technika*. České vysoké učení technické v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04941-9.

- [28] Systems, D.: LED Control Using Touch Button. 4Duino, Srpen 2016, [Online; navštíveno 14.05.2017].  
URL <http://www.4duino.com/4duino-led-control-using-touch-button/>
- [29] Vakhterov, A.: Light\_WB2812 Arduino library. Github, Prosinec 2016, [Online; navštíveno 07.05.2017].  
URL [https://github.com/cpldcpu/light\\_ws2812/tree/master/light\\_ws2812\\_Arduino](https://github.com/cpldcpu/light_ws2812/tree/master/light_ws2812_Arduino)
- [30] Voda, Z.: *Průvodce světem Arduina*. HW Kitchen, 2015, ISBN 978-80-87106-90-7.
- [31] Warren, J.-D.: *Arduino robotics*. Paul Manning, 2011, ISBN 978-1-4302-3183-7.
- [32] Whitaker, T.: Výhody LED. LEDs magazine, Leden 2005, [Online; navštíveno 28.04.2017].  
URL <http://www.ledsmagazine.com/articles/2005/01/benefits-and-drawbacks-of-leds.html>
- [33] I2C. Listopad 2015, [Online; navštíveno 04.05.2017].  
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [34] Barevný model. Červenec 2016, [Online; navštíveno 15.05.2017].  
URL [https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%BD\\_model](https://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%BD_model)
- [35] Mikrokontrolér PIC. Prosinec 2016, [Online; navštíveno 15.05.2017].  
URL [https://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrokontrol%C3%A9r\\_PIC](https://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrokontrol%C3%A9r_PIC)
- [36] Pulzně šířková modulace. Prosinec 2016, [Online; navštíveno 05.05.2017].  
URL [https://cs.wikipedia.org/wiki/Pulzn%C4%9B\\_%C5%A1%C3%AD%C5%99kov%C3%A1\\_modulace](https://cs.wikipedia.org/wiki/Pulzn%C4%9B_%C5%A1%C3%AD%C5%99kov%C3%A1_modulace)
- [37] RGB. Říjen 2016, [Online; navštíveno 15.05.2017].  
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/RGB>
- [38] HSL and HSV. Květen 2017, [Online; navštíveno 30.04.2017].  
URL [https://en.wikipedia.org/wiki/HSL\\_and\\_HSV](https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV)
- [39] Koherence (vlnění). Březen 2017, [Online; navštíveno 07.05.2017].  
URL [https://cs.wikipedia.org/wiki/Koherence\\_\(vln%C4%9Bn%C3%AD\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Koherence_(vln%C4%9Bn%C3%AD))
- [40] Luminofor. Únor 2017, [Online; navštíveno 04.05.2017].  
URL <https://cs.wikipedia.org/wiki/Luminofor>
- [41] Raspberry Pi. Duben 2017, [Online; navštíveno 15.05.2017].  
URL [https://cs.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://cs.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)
- [42] RGB color model. Květen 2017, [Online; navštíveno 15.05.2017].  
URL [https://en.wikipedia.org/wiki/RGB\\_color\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model)
- [43] Worldsemi: WS2812B Datasheet. [Online; navštíveno 25.03.2017].  
URL <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>