

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky



**Modernizace fotografického zvětšovacího přístroje a
realizace řídicí elektroniky**

**Upgrade of Photographic Enlarger and Design of
Control Electronics**

Bakalářská práce

Tomáš Sap

Bakalářský program: Elektronika a komunikace
Vedoucí práce: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Praha, Srpen 2020

Vedoucí práce:

Ing. Karel Fliegel, Ph.D.
Katedra radioelektroniky
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze
Technická 2
160 00 Prague 6
Česká republika

Copyright © Srpen 2020 Tomáš Sap



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sap** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **474250**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Modernizace fotografického zvětšovacího přístroje a realizace řídicí elektroniky

Název bakalářské práce anglicky:

Upgrade of Photographic Enlarger and Design of Control Electronics

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s problematikou analogové fotografie, zejména s procesem zvětšování snímků. Analyzujte možnosti náhrady konvenčního světelného zdroje ve zvětšovací přístroji moderním světelným zdrojem LED. Navrhněte a realizujte úpravu vybraného zvětšovacího přístroje včetně řídicí elektroniky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Zaoral, Z., Fotografujeme: Praktická příručka pro začátečníky, pokročilé i profesionály, Pěnkava, 1993.
- [2] Gonzalez, R. C., Woods, R. E., Digital image processing, Pearson, 2018.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Fliegel, Ph.D., katedra radioelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **07.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

Ing. Karel Fliegel, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Josef Dobeš, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, v srpnu 2020

.....
Tomáš Sap

Abstrakt

Práce pojednává o modernizaci zvětšovacího přístroje s použitím LED světelného zdroje. Za tímto účelem nejprve popisuje teorii a postupy konvenční analogové fotografie se zaměřením především na oblasti spojené s pozitivním materiálem, tedy zvětšování a pozitivní proces. Dále je blíže zpracován přehled již implementovaných amatérských i profesionálních modernizací stejného druhu, jimiž se práce inspiruje. Samotná vlastní úprava navrhuje a realizuje implementaci RGB LED maticového zdroje s individuálním řízením, který spolu s navrženou řídicí jednotkou umožní elektronické řízení gradace a vhodnou kalibraci i korekci vad optické soustavy zvětšovacího přístroje. Systém mimo to integruje nastavení parametrů expozice spolu s dalším pomocným řízením pro její přípravu a provedení. Výsledek testování navržené soustavy ukazuje, že elektronické nastavení parametrů včetně gradace je možné a expozici lze úspěšně provést. Manuální kalibrace světelného zdroje je však příliš hrubá a zdlouhavá. Problém by mohlo řešit zvýšení citlivosti v nastavení intenzit jednotlivých LED, popřípadě její automatizace. Aktuální podobu kalibrace lze využít k přibližnému elektronickému maskování či nadržování.

Klíčová slova: Analogová fotografie, zvětšovací přístroj, světelná skříň, LED, expozice, variabilní gradace, temná komora, expozimetr, modernizace.

Abstract

The thesis deals with the upgrade and modernization of a photographic enlarger with the use of LED light source. To achieve this, the thesis describes theory behind conventional analog photography, especially areas connected to positive materials which are mainly methods of enlarging and positive process. Then a review of similar already implemented modernizations is summarized and described. This particular upgrade focuses on design and implementation of an RGB LED matrix light source with individual control system, which in cooperation with the control unit allows an electronical contrast adjustment and a correction of the enlarger's optical defects. The system also provides settings of the exposition parameters alongside with an additional control for its preparation and execution. Testing of the designed system proves, that it is possible to electronically set given parameters including contrast and that the exposition can be successfully executed. However, the manual calibration of the light source is too rough, inaccurate and time consuming. A solution to this problem could be an increase of the intensity sensitivity or a complete calibration automation. Nevertheless, its current state can be used for approximate electronical dodging and burning.

Index terms: Analog photography, photographic enlarger, light case, LED, exposure, variable contrast, darkroom, exposure meter, upgrade.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mé přítelkyni za veškerou podporu, pomoc a trpělivost, kterou se mnou při psaní práce měla, a mému vedoucímu Ing. Karlu Fliegelovi, Ph.D., za náměty, vedení, věnovaný čas, ochotu a pomoc s teoretickou i praktickou částí práce.

Seznam tabulek

2.1	Gradace fotografických papírů	9
3.1	Katalogové hodnoty LED použitých v implementaci 3.1	17
3.2	Katalogové hodnoty LED použitých v implementaci 3.3	21
4.1	Model a vlnová délka LED integrovaných v segmentu s čipem WS2812 . . .	29
4.2	Vyjádření logických úrovní na sériovém rozhraní WS2812	30
4.3	Příklady rámců pro vybrané příkazy komunikace ve směru uživatelské rozhraní - ovladač	50
B.1	Seznam datových příloh s jejich stručným popisem	72

Seznam obrázků

2.1	Zjednodušený model fotografického procesu	4
2.2	Charakteristická křivka obecného fotografického materiálu	6
2.3	Struktura světelné skříně s porovnáním funkce kondenzoru a difuzoru	11
2.4	Obecný zvětšovací přístroj pro černobílou fotografii	11
3.1	Schéma zapojení LED matice implementace č. 3.1	17
3.2	Detailní pohled na display uživatelského rozhraní implementace č. 3.1	18
3.3	Deska s LED články a box původního difuzoru implementace č. 3.2	20
3.4	Jednotlivé konfigurace světelného zdroje implementace 3.3	23
3.5	Uspořádání LED světelného zdroje Heiland electronic	24
4.1	Spektrální citlivost fotopapíru FOMASPEED Variant 311	27
4.2	Matice WS2812 8×8	28
4.3	Uspořádání RGB LED segmentu s čipem WS2812 v pouzdře 5050	29
4.4	Sériové spojení tří WS2812Sériové spojení WS2812	29
4.5	Podoba vstupního signálu v čase pro 3 WS2812 v sérii	31
4.6	Arduino Pro Mini 5V	33
4.7	BLE modul HM-10	34
4.8	Blokové schéma systému řídicí jednotky	35
4.9	3D model jednotlivých pater nové světelné skříně	37
4.10	3D model nové světelné skříně	38
4.11	Kompletní osazená světelná skříň	39
4.12	Ukázka světelného zdroje s použitím 3 základních RGB barev	39
4.13	Orientační blokové schéma softwarové architektury	40
4.14	Úvodní obrazovka mobilní aplikace	43
4.15	Ukázka připojení mobilní aplikace k ovladači	45
4.16	Ukázka nastavení parametrů expozice v mobilní aplikaci	45
4.17	Ukázka kalibrace světelného zdroje v prostředí mobilní aplikace	46
4.18	Ukázka časovače expozice v mobilní aplikaci	46
4.19	Naznačení průběhu kalibrace světelného zdroje	48
4.20	Naznačení průběhu nastavení gradace	50
4.21	Naznačení průběhu konfigurace ovladače	53
4.22	Naznačení průběhu řízení světelného zdroje v pre-expozičním módu ovladače	54

4.23	Naznačení průběhu řízení světelného zdroje v expozičním módu ovladače	55
5.1	Výkonová spektra jednotlivých intenzitních poměrů RGB barev světelného zdroje	57
5.2	Závislost jasu jednotlivých RGB složek na intenzitním poměru s proložením přímkou	58
5.3	Závislost jasu jednotlivých RGB složek na intenzitním poměru s proložením přímkou	59
5.4	Výkonové spektrum záření displaye mobilní aplikace	60
5.5	Expozice prázdného snímku bez vloženého negativu po finální kalibraci s použitou konfigurací	61
5.6	Expozice a vyvolání testovacího obrazce pro ověření rozlišovací schopnosti	62
5.7	Expozice a vyvolání testovacího obrazce pro ověření převodní charakteristiky	63
5.8	Exponovaná a vyvolaná fotografie číslo 1	63
5.9	Exponovaná a vyvolaná fotografie číslo 2	64
5.10	Exponovaná a vyvolaná fotografie číslo 3	64
5.11	Ověření možnosti elektronické změny gradace	65

Seznam zkratek

BLE Bluetooth Low Energy. 32, 34, 36, 41, 42, 44, 51

GRB Green-Red-Blue. 30

HSV Hue, Saturation, Value. 41

I2C Inter-Integrated Circuit. 33

IO Input-Output. 33

IPS In-Plane Switching. 59

IR Infra-Red. 18

ISO International Organization for Standardization. 7, 22

LCD Liquid Crystal Display. 16, 18, 38, 59

LED Light-Emitting Diode. 1, 2, 16–23, 26–38, 40, 44, 47–50, 52–54, 56–58, 61, 62, 65–67, 71

OLED Organic Light-Emitting Diode. 67

PWM Pulse Width Modulation. 18, 21, 22, 29–32, 47

RC Resin Coated. 8

RGB Red-Green-Blue. 2, 19, 23, 26–28, 30, 32, 34, 41, 42, 53, 59, 66

RX Receive. 33–35

SMD Surface Mount Device. 17

SPI Serial Peripheral Interface. 33

TTL Transistor-Transistor-Logic. 33

TX Transmit. 33–35

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. 33, 34

Obsah

Abstrakt	v
Poděkování	vii
Seznam tabulek	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam zkratk	xi
1 Úvod	1
2 Analogová fotografie a proces zvětšování	3
2.1 Fotografický proces	3
2.2 Pojmy a veličiny v analogové fotografii	5
2.2.1 Denzita	5
2.2.2 Strmost	6
2.2.3 Gradace	7
2.2.4 Obecná citlivost	7
2.2.5 Osvitová čísla	7
2.2.6 Clona	7
2.3 Proces zvětšování	8
2.3.1 Pozitivní materiál	8
2.3.2 Zvětšovací přístroj	10
2.3.3 Technika zvětšování	12
2.4 Pozitivní proces	13
2.4.1 Vývojka	14
2.4.2 Přerušovací lázeň	14
2.4.3 Ustalovač	14
2.4.4 Technika vyvolávání	15
3 Existující implementace	16
3.1 Úprava Durst Laborator 1000	16
3.2 Úprava Durst Laborator 1200	19

3.3	Úprava Durst Laborator 138S	21
3.4	LED světelný zdroj od Heiland electronic	23
4	Vlastní modernizace světelného zdroje	25
4.1	Požadavky na navrhované zařízení	25
4.2	Návrh světelného zdroje na bázi LED	26
4.2.1	Výběr komponent a konstrukční řešení	26
4.2.2	Adresovatelná LED s čipem WS2812	28
4.2.3	Řízení WS2812	30
4.3	Řídicí jednotka a její hardwarové řešení	32
4.3.1	Výběr komponent	32
4.3.2	Popis systému	35
4.4	Návrh světelné skříně	36
4.5	Softwarová architektura	40
4.5.1	Použité knihovny a nástroje	41
4.5.2	Uživatelský vstup a výstup	42
4.5.3	Kalibrace a nastavení gradace	47
4.5.4	Komunikace mezi uživatelským rozhraním a ovladačem	49
4.5.5	Řídicí smyčka ovladače	52
5	Test navrženého zařízení	56
5.1	Spektrální složení LED světelného zdroje	56
5.2	Spektrální složení displaye mobilní aplikace	59
5.3	Zvětšení a vyvolání snímků navrženou soustavou	60
6	Závěr	66
A	Uživatelský manuál zařízení	69
B	Datové přílohy	72
	Použitá literatura	73

Kapitola 1

Úvod

Analogová fotografie je i v dnešním digitálním světě nemálo používanou technologií. I když může spojení budít dojem zastaralého a dnes již nepotřebného přežitku, nemusí tomu tak ve všech ohledech být. Analogová technologie jako taková je základem všech číslicových zařízení a digitalizačních procesů. Svět, ve kterém žijeme, je totiž světem analogovým a ke komunikaci s ním je potřeba analogových periférií. Těmi nejsou jen senzory, ale i všechna uživatelská rozhraní, které jsou součástí našeho každodenního života, jako například obrazovky či reproduktory. Nutnost těchto periférií vnáší do číslicového procesu jeden nedostatek, ztrátu a zkreslení informace při digitalizaci a zpětné reprodukci. Nejen z toho důvodu se některé analogové technologie vrací a znovu stoupají na oblibě.

Fenomén analogové fotografie v digitální době žije již od počátku 90. let. Nezanedbatelným problémem však zůstává absence odpovídajících moderních prostředků, vývoj v tomto směru se s příchodem digitalizace téměř zastavil. Vzniklý propad se s dalším technologickým pokrokem dále prohlubuje a zastaralou techniku používá naprostá většina uživatelů. Možná modernizace, která zachová analogovou podstatu fotografie, se nabízí obzvlášť v procesu zvětšování, konkrétně jde o zvětšovací přístroj, který má dnes již řadu slabých míst. Největším z nich je použití klasické žárovky pro expozici fotopapíru.

Žárovka má krátkou životnost, vysokou spotřebu a velice nízkou účinnost. Energie se ztrácí ve formě tepla, které může hlavně u dlouhých expozic degradovat filmový záznam. Mimo to je žárovka jednobodovým zdrojem světla, takže sama o sobě nezajišťuje rovnoměrné nasvícení fotopapíru a je nutné ji doplňovat odpovídající optickou soustavou, která do procesu vnáší další vady. Vhodným řešením by mohla být náhrada klasické žárovky LED světelným zdrojem, který vedle vyšší účinnosti, nízké spotřeby a ceny nabízí i další

výhody. Maticové uspořádání LED by v kombinaci s jejich individuálním řízením mohlo dovolit kontrolu osvětlení jednotlivých oblastí negativu a vhodnou kalibrací jeho rovnoměrné nasvícení bez nutnosti korekce dodatečnou optickou soustavou. Mimo to by takový světelný zdroj šlo použít i pro korekci vad pevné optické soustavy zvětšovacího přístroje, popřípadě i k přibližnému elektronicky řízenému maskování.

Fotopapír je citlivý jen na určité části světelného spektra. Odpovídající LED má pro tento účel v porovnání s klasickou žárovkou vhodnější spektrální složení a díky absenci neúčinného světla vede i se stejným celkovým výkonem na nižší časy expozice. V případě multigradačního fotopapíru lze gradaci nastavit složením expozičního světla, konkrétně poměrem modré a zelené. Klasickou žárovku je za tímto účelem nutno kombinovat s modrozelenými filtry odpovídajících poměrů, které mezi jednotlivými expozicemi vyměňuje uživatel. Použitím zelených a modrých LED v novém světelném zdroji lze tyto filtry plně nahradit a gradaci řídit čistě elektronicky. Přidáním červených LED, vůči nimž je fotopapír nereaktivní, či použitím levnějších a dostupnějších RGB LED lze navíc integrovat bílé světlo pro ostření a bezpečnostní světlo přímo ve světelném zdroji.

Cílem práce je navrhnout a vhodným způsobem implementovat výše popsané možnosti modernizace zvětšovacího přístroje. Za tímto účelem práce popíše proces produkce černobílé analogové fotografie, provede výzkum v oblasti již existujících implementací a na jejich základě provede a popíše vlastní modernizaci fotografického zvětšovacího přístroje včetně realizace řídicí elektroniky.

Kapitola 2

Analogová fotografie a proces zvětšování

Tato teoretická kapitola popisuje konvenční procesy a postupy klasické analogové fotografie. Seznamuje s pojmy, používanými veličinami, příslušenstvím a fotografickým materiálem včetně souvisejících chemických procesů.

2.1 Fotografický proces

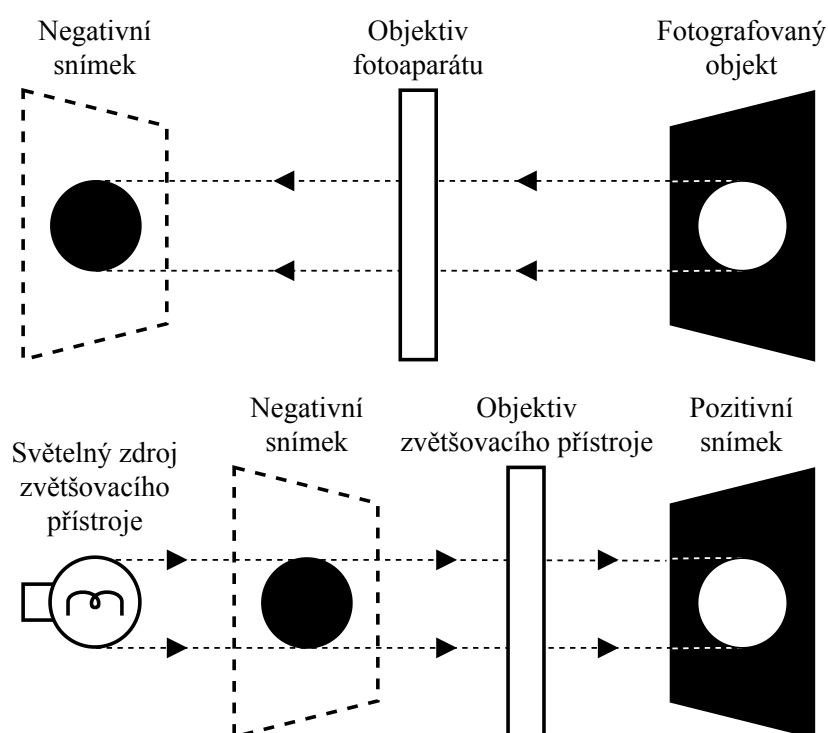
Obecný pojem analogová fotografie je podle [1] proces získání trvalého černobílého nebo barevného obrazu skutečnosti na barevné nebo průhledné podložce, zachycený optickou soustavou na fotocitlivý materiál a zviditelněný chemickým laboratorním zpracováním. Ve skutečnosti se tedy jedná o celou řadu dílčích procesů a úkonů, které lze shrnout pod obdobným pojmem fotografický proces. Ten lze z technologického hlediska rozdělit na dvě obecné části [1]:

1. exponování fotocitlivého materiálu
2. chemické zpracování exponovaného materiálu

Konvenční postup analogové fotografie potom aplikuje obě části dvakrát po sobě: nejprve pro zachycení negativního snímku a poté jeho zvětšením pro tvorbu pozitivního snímku.

Vynecháme-li část s chemickým zpracováním, lze celý postup popsat zjednodušeným modelem ve dvou krocích. Fotografován je bílý předmět na černém pozadí. V prvním kroku je exponován průhledný fotocitlivý materiál. Přesněji: paprsek odražený od fotografovaného

předmětu dopadá na fotocitlivý materiál, v místě jeho dopadu dochází k chemickým změnám a materiál se tam stává neprůhledným. Celá neprůhledná část potom kopíruje rysy fotografovaného předmětu a vzniká negativní snímek. V druhém kroku je pomocí optické soustavy se světelným zdrojem získaný negativní snímek promítnut na již neprůhledný bílý fotocitlivý materiál neboli fotopapír. Tento proces se nazývá zvětšování. Po dopadu paprsku dochází ke stejným chemickým změnám a papír v tomto bodě černá. Paprsky prochází pouze průsvitnými částmi negativu a na fotopapíře se tak tvoří pozitivní obraz. Obraz fotografovaného objektu zůstává bílý a jeho okolí je černé stejně jako fotografovaná skutečnost. Oba kroky jsou znázorněny na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1: Zjednodušený model fotografického procesu

Skutečnost je taková, že k zobrazení či vyjasnění a ustálení obrazu je po každé expozici fotocitlivého materiálu třeba určitého chemického zpracování. Po exponování negativu jde o negativní proces, po exponování pozitivu obdobně o pozitivní proces [1]. Oba procesy jsou si velice podobné a skládají se z aplikace postupně 3 chemikálií: vývojky, přerušovací lázně a ustalovače [2].

Obecně jsou oba procesy založeny na stejném principu. Jeho základem je přítomnost suspenze bromidu stříbrného ve fotocitlivém materiálu [1]. Bromid stříbrný AgBr je citlivý

na světlo a jeho působením se rozkládá na Br a Ag, čímž suspenze mění barvu ze světle žluté na šedou [3]. Působením vývojky dochází k její oxidaci a redukci stříbra ze suspenze, čímž materiál dále černá. Atomy stříbra se při redukci shlukují do tzv. zrn, jejichž výsledná hustota odpovídá osvitů dané oblasti, a tedy i stupni zčernání [4]. Oxidací mění vývojka své chemické složení, vyčerpává se a ztrácí svou funkci.

Bromid stříbrný není citlivý na celé spektrum viditelného světla ale pouze jeho část. Zhruba se jedná o interval 395 až 495 nm [1]. Do fotografických materiálů se tedy přidávají další látky, které rozšiřují citlivou oblast (v případě negativního materiálu až na celé viditelné spektrum nutné pro zachycení viditelné skutečnosti). Kromě odlišného citlivého spektra se materiály liší ve způsobu, jakým reagují na světlo. Podle [1] nevzniká při expozici průhledného negativního materiálu viditelný obraz přímo, ale pouze neviditelný, tzv. latentní obraz. K jeho vyjasnění dochází až aplikací vývojky. Naproti tomu první forma obrazu na pozitivním materiálu vzniká už přímo při exponování.

Postupy a příslušenství pozitivního procesu a zvětšování, tedy částí důležitých pro tuto práci, jsou blíže popsány dále.

2.2 Pojmy a veličiny v analogové fotografii

Technologické postupy ve fotografii užívají řadu speciálních veličin a pojmů. Blíže budou popsány ty, které mají vztah k řešení zadaného úkolu: denzita, strmost, gradace, obecná citlivost, osvitová čísla a clona.

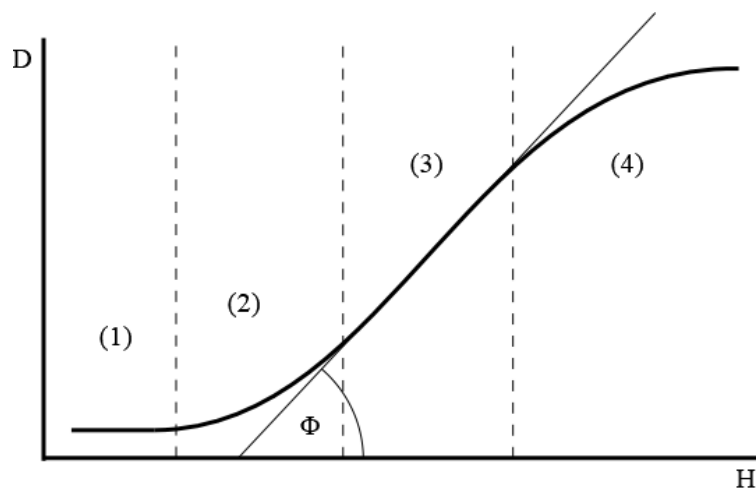
2.2.1 Denzita

Optická hustota neboli denzita je v případě dopadu světla na průsvitnou či odraznou plochu podle [1] logaritmickou funkcí poměru intenzity světla dopadajícího ku intenzitě světla prošlého, respektive odraženého. Označíme-li intenzitu dopadajícího světla jako I_d a prošlého, respektive odraženého, I_o , potom denzitu D vyjadřuje funkce popsaná rovnicí 2.1.

$$D = \log_{10} \frac{I_d}{I_o} \quad (2.1)$$

Ve fotografii se denzita používá k popisu úrovně zčernání negativu či pozitivu. K jejímu měření slouží přístroj denzitometr. Optická hustota je důležitým parametrem při zkoumání expozičních vlastností fotocitlivého materiálu, které popisuje tzv. charakteristická křivka

jako závislost denzity D na osvitu $H = Et$, čili osvětlení materiálu E za čas t [4]. Denzita je v grafu na obrázku 2.2 vynesena na ose y a osvit logaritmicky na ose x .



Obrázek 2.2: Charakteristická křivka obecného fotografického materiálu (překresleno [1])

Křivka je dělena do čtyř oblastí. Podle [1] jsou to oblast závoje (1), podexpoze (2), správné expoze (3) a přeexpoze (4). Oblast správné expoze je dána lineární částí křivky a na ose x vymezuje dynamický rozsah materiálu. Jen v tomto rozsahu expoze lze dosáhnout správného podání světla a stínů, tedy čistě bílé vedle sytě černé. V oblasti závoje ještě nedochází ke zčernání vlivem expoze. Možná nemulová optická hustota je způsobena pouze procesem vyvolávání a nazývá se závoj. V oblasti podexpoze začíná materiál černat vlivem osvětlení, závislost však není lineární, nedochází k nasycení stínů, které jsou nedokreslené, a obraz je celkově zašedivělý. Oblast přeexpoze je rovněž nelineární, dochází zde k přesycení stínů a jejich přelévání. Obraz je celkově zatmavený a bez detailů.

2.2.2 Strmost

Pro fotografický materiál je důležitý úhel Φ , který svírá lineární část charakteristické křivky s osou x . Tangens tohoto úhlu se nazývá strmost G a jde o poměr přírůstku denzity a přírůstku osvitu v oblasti správné expoze [4]. Při konstantním osvětlení lze strmost chápat jako stupeň rychlosti černání materiálu. Fotografické materiály s nižší strmostí se označují jako měkké, materiály s vyšší strmostí jako tvrdé.

2.2.3 Gradace

Pojem gradace úzce souvisí se strmostí, vyjadřuje stejné vlastnosti fotografického materiálu, číselně však odpovídá náklonu osy, která spojuje bod charakteristické křivky, kde dochází k prvnímu rozeznatelnému zčernání, s bodem s nejvyšším možným rozeznatelným zčernáním. Hodnota gradace se z charakteristické křivky určuje graficky podle definované škály [4]. Pro fotografii se používají fotopapíry konečného množství určitých hodnot gradací. Z toho důvodu jsou tyto hodnoty označovány celočíselnými stupni gradace.

2.2.4 Obecná citlivost

Citlivost materiálu vyjadřuje míru schopnosti reagovat na dopadající světlo. Pro její měření je dnes nejčastěji používána standardizovaná stupnice ISO, která kombinuje údaje logaritmické a aritmetické stupnice [1]. Materiály s vyšší citlivostí vyžadují pro dosažení stejné optické hustoty nižší úroveň expozice, materiály s nižší citlivostí naopak úroveň expozice vyšší.

2.2.5 Osvitová čísla

Doba expozice ve fotografii není volena libovolně, ale v sekundách z hodnot geometrické řady R 20 s koeficientem 1,2246, neboli $\sqrt[6]{2}$ [1]. Řada byla vybrána experimentálně a její indexy se nazývají osvitová čísla. Menší změna než o 1 osvitové číslo není v optické hustotě postřehnutelná lidským okem a ve fotografii tedy nemá smysl.

2.2.6 Clona

Clona je soustava lamel, které regulují množství světla procházejícího objektivem zvětšovacího přístroje. Fyzicky jde o změnu velikosti kruhového otvoru, kterým světlo prochází mezi objektivem a pozitivem. Nastavení clony charakterizuje clonové číslo F dle vzorce 2.2, kde f je ohnisková vzdálenost objektivu a d průměr otvoru clony [5].

$$F = \frac{f}{d} \quad (2.2)$$

Obecně platí, že s clonovým číslem se zvyšuje hloubka ostrosti výsledného obrazu. Výraz clona se někdy používá i pro samotné clonové číslo.

2.3 Proces zvětšování

Po vyvolání negativu je negativní obraz nutno převést na pozitivní. Tomuto převodu se říká zvětšování a provádí se zvětšovací přístrojem, který promítá negativ na pozitivní materiál a tím ho exponuje. Pozitiv lze získat i tzv. kontaktním způsobem, potom má ale obraz stejnou velikost jako negativ a používá se většinou jen pro prvotní posouzení kvality snímku před jeho zvětšením [1].

2.3.1 Pozitivní materiál

Složení obecného pozitivního materiálu je ve vrstvách odspoda, tedy od vrstvy ležící na podložce, následující [4]:

1. Ohebná podložka, klasicky papírová či kartónová, dnes se nejčastěji používá RC materiál. Podložka musí být kvalitní a velmi odolná, zvláště proti vlhkosti, aby vydržela máčení v chemikáliích a dlouhé praní.
2. Barytová vrstva, která brání vpíjení citlivé suspenze do podložky, a naopak chrání citlivou vrstvu proti vlivům podložky. Používá se pouze v kombinaci s papírovou podložkou.
3. Citlivá vrstva jako suspenze halogenidů stříbra (nejčastěji AgBr) v želatině. Jde o jedinou aktivní vrstvu fotopapíru. Někdy se do suspenze přidávají senzibilátory, které rozšiřují či jinak upravují citlivé spektrum materiálu. Senzibilizace například umožňuje měnit gradaci fotopapíru složením světla světelného zdroje.
4. Antistatická vrstva, která zabraňuje parazitnímu exponování statickou elektřinou. Ta může na povrchu vznikat i při běžné manipulaci, zvláště pak při zpracování.
5. Ochranná vrstva z želatiny, která chrání citlivou vrstvu před mechanickým poškozením.

Pozitivní materiály lze dělit na základě složení každé z uvedených vrstev. Z hlediska funkčnosti je nejdůležitější dělení citlivé vrstvy, a to dle její senzibilizace.

Nesenzibilovaný fotografický papír

Citlivá vrstva takového papíru je tvořena jednou suspenzí halogenidu stříbra v želatině. Většinou se jedná o bromid stříbrný AgBr. Papíry jsou vyráběny s pevnými stupni gradace popsanými v tabulce 2.1 [1].

stupeň gradace	označení papíru	gradace
0	zvláště měkký	1,70
1	měkký	1,40
2	speciál	1,20
3	normální	0,90
4	tvrdý	0,70
5	ultratvrký	0,50

Tabulka 2.1: Gradace fotografických papírů

Nesenzibilovaný papír je citlivý jen na určitou úzkou část světelného spektra. Například u AgBr je to rozsah přibližně 395 až 495 nm [1], neboli modrá část spektra. S takovým papírem je tedy možno pracovat i v zelenožlutém osvětlení, ve kterém lidské oko lépe vnímá kontrast.

Senzibilovaný fotografický papír

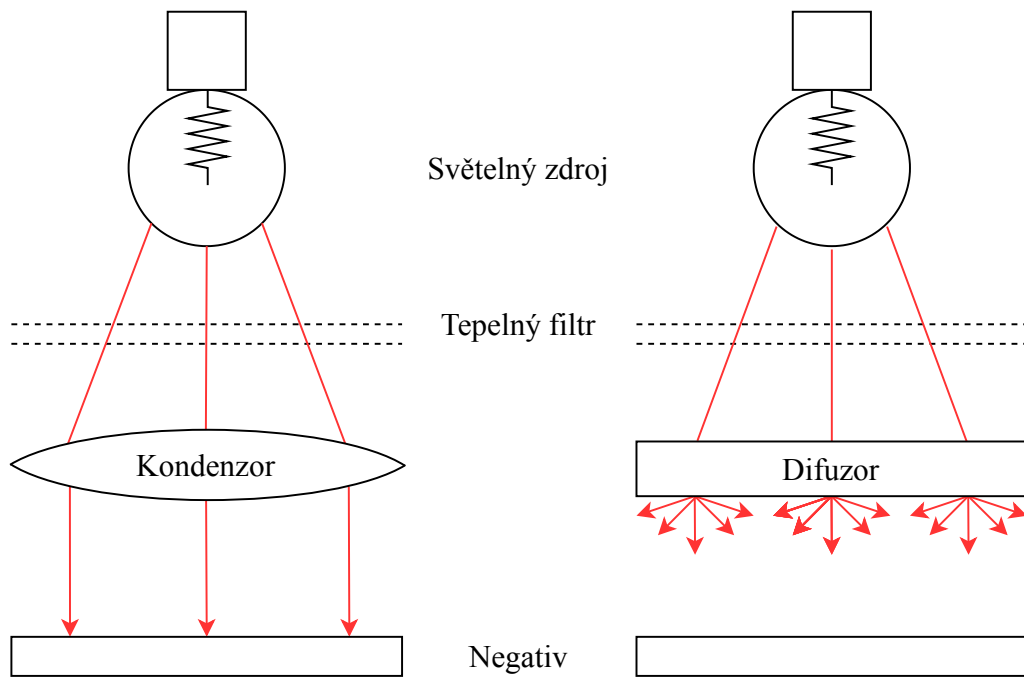
Senzibilátory rozšiřují citlivé spektrum fotopapíru. V černobílé fotografii se jich využívá k výrobě zvláštního typu papíru, u kterého lze nastavit kontrast složením dopadajícího světla. Takovýto papír se nazývá multigradační. Jeho citlivá vrstva je složena z dalších tří dílčích vrstev, z nichž všechny obsahují stejně koncentrovanou suspenzi halogenidu stříbra a mají tedy stejnou citlivost k modré části spektra [6]. Při expozici modrým světlem dochází k reakci ve všech vrstvách stejným dílem, výsledný efekt černání se aditivně sčítá a roste s vysokou hodnotou strmosti. Papír má vysoký stupeň gradace.

Přidané senzibilátory zvyšují citlivost na zelenou část spektra a v jednotlivých vrstvách jsou obsaženy v různém poměru [6]. První vrstva není na zelené světlo citlivá vůbec, druhá částečně a třetí je na zelené světlo citlivá stejně jako na modré. Při expozici zeleným světlem je aditivní efekt nižší než u modrého a papír má nízký stupeň gradace. Poměrem modrého a zeleného světla lze gradaci blíže nastavit. Slouží k tomu barevné filtry, které se před expozicí vkládají mezi žárovku a negativ.

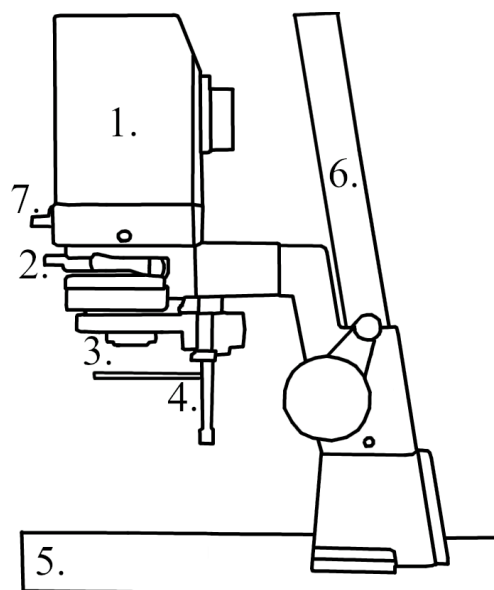
2.3.2 Zvětšovací přístroj

Základní části zvětšovacího přístroje jsou podle obrázku 2.4 a [1] následující:

1. Světelná skříň neboli hlava zvětšovacího přístroje, v níž je uložen světelný zdroj (klasická žárovka s příkonem obvykle okolo 150 W), tepelný filtr a kondenzor, což je soustava spojných čoček, která slouží k soustředění světla do rovnoběžného svazku s rovnoměrnou intenzitou v celém jeho průřezu [7]. Při průchodu svazku negativem dochází v oblastech s vysokou denzitou k rozptylu rovnoběžných paprsků. Tomuto efektu se říká Callierův jev a vede na obecně vyšší kontrast výsledného pozitivního obrazu [7]. Některé zvětšovací přístroje používají místo kondenzoru tzv. difuzor, popřípadě umožňují jejich výměnu. Difuzor je obecně zařízení, které světelný svazek rozptyluje. Díky tomu, že na negativ dopadá světlo už rozptýlené, minimalizuje se difference v kontrastu jednotlivých snímků pořízených stejnou soustavou se stejnými parametry [7]. Difuzor kontrast i ostrost snímku obecně snižuje, nicméně není tak citlivý na znečištění a mechanické poškození negativu [2]. Porovnání funkce kondenzoru a difuzoru je naznačeno na obrázku.
2. Rámeček na negativ s maskovacím zařízením umožňující zakrýt okraje.
3. Zaostrovací systém s objektivem. Ostří se změnou vzdálenosti mezi objektivem a negativem pomocí točítka posuvu objektivu.
4. Odsuvný bezpečnostní červený filtr.
5. Základní deska s maskovacím zařízením pro zakrytí okrajů fotopapíru a vymezení rozměrů obrazu.
6. Trubka stojanu se stupnicí koeficientů zvětšení, které se nastavuje vzdáleností mezi světelnou skříň s objektivem a základní deskou pomocí točítka zvětšení.
7. Zásuvka pro barevné filtry. Různé filtry se používají k nastavení různých gradací multigradačního fotopapíru.



Obrázek 2.3: Struktura světelné skříně s porovnáním funkce kondenzoru a difuzoru



Obrázek 2.4: Obecný zvětšovací přístroj pro černobílou fotografii

2.3.3 Technika zvětšování

Proces zvětšování sestává z několika základních kroků a je doporučeno je provádět v předepsaném pořadí. Níže je popsán klasický pracovní postup [1].

Příprava přístroje a materiálu

Nejprve je nutno nastavit velikost zvětšeniny na maskovacím zařízení základní desky. Obvykle se nenastavuje přímo velikost samotného obrazu, ale rozměry celé výsledné fotografie i s bílými okraji. Následuje založení negativního snímku do rámečku zvětšovacího přístroje. Negativ se vkládá citlivou částí dolů, tedy stejným způsobem jako by základní deska byla fotografovaná skutečnost a negativ samotný byl právě exponován. Vložení negativu citlivou částí nahoru by vedlo ke zvětšení zrcadlově otočeného obrazu.

Dále je nutno určit výřez neboli nastavit velikost výsledného obrazu a zasadit ho do maskovacího rámu na základní desce. Nejprve je třeba rozsvítit žárovku a odclonit objektiv. Určení velikosti zvětšeniny se provádí otáčením točítka posuvu při současném sledování promítaného obrazu. Vhodné je při otáčení průběžně přibližně doostřovat, neboť ostření samotné má vliv na velikost obrazu. Po určení výřezu lze obraz zaostřit přesně. To se provádí pomocí zaostřovací štěrbin. Obraz je zaostřen ve chvíli, kdy se štěrbina jeví jako tenká a rovná, pokud obraz zaostřen není, je štěrbina schodovitá a rozmazaná.

Dalším nutným krokem je zakrytí okrajů negativu tak, aby kolem něj neprocházelo žádné světlo. To lze provést pomocí maskovacího zařízení v rámečku na negativ. Jakékoli parazitní světlo, které přímo dopadá na základní desku, nebo se jen odráží od okolního prostředí, značně snižuje kvalitu výsledného obrazu. Předposledním krokem před samotnou expozicí je zaclonění objektivu neboli určení pracovního osvětlení. Běžně se nastavuje pracovní clona 5,6. Pokud je negativ řídký, tak 8 nebo 11. Dále už jen stačí při vypnuté žárovce vložit žádaný pozitivní materiál a v případě použití multigradačního fotopapíru zasunout vybraný barevný filtr. Zvětšovací přístroj je takto připraven k exponování.

Expozice

Expoziční čas je nejlepší nastavit na expozičních hodinách, které se starají o sepnutí a přesné vypnutí světelného zdroje. Čas se nenastavuje přímo v sekundách, ale v osvitových číslech, tedy geometrické řadě s koeficientem $\sqrt[6]{2}$, viz 2.2.5. Dvakrát větší čas expozice tedy odpovídá přírůstku o 6 osvitových čísel, poloviční čas poklesu o 6 osvitových čísel. Čas

expozice závisí na [1]:

1. clonovém čísle F (míře zaclonění objektivu)
2. velikosti zvětšení m
3. gradaci fotopapíru G

Pro každý z parametrů F , m a G existuje tabulka, která v závislosti na hodnotě parametru vyjadřuje změnu potřebného expozičního času od výchozí hodnoty. Ta se běžně zjišťuje experimentálně expoziční zkouškou. Pokud po zkoušce dojde ke změně nějakého z uvedených parametrů, ať už změnou fotopapíru či zvětšení, změní se výsledný čas v osvitových číslech o součet dílčích změn uvedených v příslušných tabulkách [1].

Expoziční zkouška

Zkouška expozice slouží k experimentálnímu určení expozičního času pro dané zvětšení, fotopapír a výchozí clonové číslo (většinou 5,6). Provádí se pomocí zařízení pro proužkovou expozici, kterým se zakryje fotopapír. Zařízení tvoří obdélníková konstrukce s pěti kovovými destičkami, jejichž průběžným odklápěním lze při expozici naexponovat pět různých částí fotopapíru pěti různými časy. Ideálně se zvětšuje jen ta část negativu, která má největší dynamický rozsah optických hustot [1]. Tato část je vymezena maskovacím zařízením v rámečku pro negativ a zvětšuje se pro každý expoziční čas, tedy pětkrát vedle sebe. Při každém odklopení destičky je tak nutno zařízení pro proužkovou expozici i s fotopapírem odpovídajícím způsobem posunout.

Zkouška obvykle probíhá dvakrát po sobě. Jednou s expozičním rozdílem 6 osvitových čísel, které odpovídají rozsahu jedné clony, a po uživatelském výběru nejvhodnější expozice podruhé v rozsahu vybrané clony, tedy s expozičním rozdílem 1 osvitové číslo [1]. Konečný výběr přesně určí vhodný čas expozice pro danou clonu, zvětšení a fotopapír.

2.4 Pozitivní proces

Po expozici pozitivního materiálu následuje jeho chemické zpracování nazývané pozitivní proces. V této sekci jsou popsány používané chemikálie a postupy.

2.4.1 Vývojka

Vývojka je chemická látka, která při kontaktu s fotopapírem reaguje s exponovanou suspenzí halogenidů stříbra a redukuje z nich čisté stříbro [6]. Od pozitivní vývojky se očekává rychlé a strmé vyvolávání. Její obecné složení je následující [1]:

1. Destilovaná voda jako polární rozpouštědlo ostatních chemikálií.
2. Vyvolávací činidlo, aktivní část vývojky, která se nejčastěji skládá z hydrochinonu v kombinaci s metolem či fenidonem. S poměrem hydrochinonu ku metolu stoupá strmost vyvolávací látky. Do určité meze lze tak vyvoláváním ovlivnit strmost výsledného obrazu.
3. Zásaditá látka, která zvyšuje účinek vyvolávací látky.
4. Protizávojevá látka, která snižuje rychlost reakce a tím brání vzniku závoje. Ten normálně vzniká při dlouhých časech vyvolávání.
5. Konzervační látka, která zabraňuje samovolné oxidaci celé vývojky a tím prodlužuje její životnost.

2.4.2 Přerušovací lázeň

Přerušovací lázeň je vodný roztok, který ukončuje působení vývojky a zabraňuje tak dalšímu černání obrazu. Je mírně kyselá, aby neutralizovala zásaditou vývojku [6]. Jako přerušovací lázeň se často používá 2 až 3% vodní roztok kyseliny octové nebo 3% roztok siřičitanu sodného [1].

2.4.3 Ustalovač

Ustalování je proces, kdy se z citlivé vrstvy odstraňuje neredukovaný a neexponovaný bromid stříbrný [6]. Bez tohoto procesu by obraz na světle dále černal. Ustalovačem je vodný roztok thiosíranu sodného. Proces ustalování probíhá ve dvou fázích [6]. Thiosíran sodný nejprve reaguje s bromidem stříbrným za vzniku thiosíranu sodnostříbrného. Ten je průzračný a z papíru tak zmizí mléčný zákal. Ve druhé fázi mění působení ustalovače thiosíran na komplexní sůl, která je rozpustná ve vodě a z papíru ji tak lze vyprat [1].

2.4.4 Technika vyvolávání

Vyvolávání exponovaných pozitivů se provádí při pracovním bezpečnostním osvětlení temné komory. Probíhá postupně ve třech miskách potřebné velikosti obsahujících zvlášť vývojku, přerušovací lázeň a ustalovač. S pozitivem se manipuluje speciálními pinzetami, které by měly být minimálně dvě, pro vývojku a zbytek chemikálií, aby nedocházelo ke styku vývojky a přerušovací lázně či ustalovače vedoucí k jejich degradaci [1].

Exponovanou zvětšeninu je třeba vložit do misky s vývojkou. Vložení se provádí citlivou stranou dolů, a to smočením nejprve hrany fotopapíru a zasunutím šikmo pod hladinu. Papír se do vývojky nekládá naplocho, aby nedocházelo ke vzniku vzduchových bublin na spodní straně. Z obou stran nasáknutý papír je otočen, aby bylo možné sledovat průběh černání. Pozitivem je třeba pomocí pinzety hýbat, zajistí se tak rovnoměrné vyvolávání po celé ploše snímku. Vyvolávání většinou neprobíhá déle jak dvě minuty. Při dlouhém vyvolávání se začíná tvořit závoj neboli zešednutí světla, které mají zůstat čistě bílé [1].

Po dosažení požadované denzity obrazu je papír přenesen na půl minuty do přerušovací lázně, ve které je několikrát převrácen citlivou stranou nahoru a dolů. Následně je pozitiv přenesen do ustalovače. První fáze ustalování trvá přibližně 2 až 5 minut, viz 2.4.3, a dochází při ní k odstranění mléčného zákalu. Po vyjasnění obrazu začíná druhá fáze, která by měla trvat přibližně dvojnásobek doby té první [1]. Po ustálení je nutné chemikálie z papíru vyprat pod tekoucí vodou. Tento krok je pro trvanlivost snímku velice důležitý a prát by se tudíž mělo nejméně půl hodiny [1].

Kapitola 3

Existující implementace

Tato kapitola popisuje již existující úpravy zvětšovacího přístroje s použitím LED světelného zdroje popsané ve volně dostupné literatuře. Jedná se o tři amatérské implementace shromážděné především z internetových blogů a jedno profesionální komerční řešení. Cílem kapitoly je seznámit se s konstrukcemi, používanými komponenty, pochopit účel a myšlenku jednotlivých implementací a inspirovat se pro vlastní úpravu zvětšovacího přístroje.

3.1 Úprava Durst Laborator 1000

Cílem této implementace bylo upravit zvětšovací přístroj pro použití difuzoru, viz sekce 2.3.2, namísto původního kondenzoru [8]. Za tímto účelem je z původní zvětšovací hlavy vyjmut celý box s kondenzorem a na jeho místo vložen zásuvný modul s LED deskou a difuzním sklem. Modul je navržen tak, aby bylo možné snadno a rychle vyměnit používaný systém [8]. Pomocí LED lze elektronicky řídit výslednou gradaci fotografie, k tomuto účelu modul implementuje matici modrofialových a zelených LED. Jako řídicí jednotka je použit mikrokontrolér Arduino Pro-Mini 3.3 V a uživatelské prostředí je realizováno na monochromatickém LCD displayi s řízením pomocí dálkového ovladače na bázi infračerveného světla.

Konstrukce zásuvného modulu

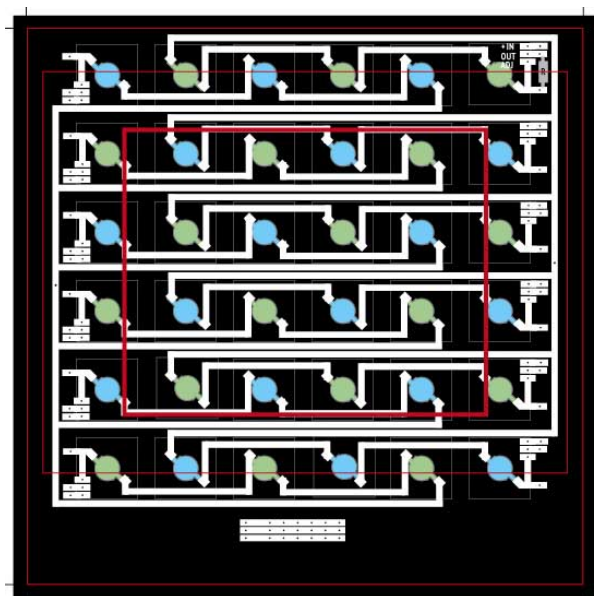
Modul je realizován jako dřevěný box ve tvaru kvádrů. V horní podstavě je zasazena deska s LED maticí směřující dovnitř kvádrů. Dolní podstava je nahrazena difuzní deskou

a vnitřní stěny zbytku kvádrů jsou pokryty hliníkovou fólií pro minimalizaci ztrát světelné energie. Aby bylo možné nastavit gradaci fotopapíru spektrálním složením světelného zdroje, je LED deska podle [8] navržena jako šachovnice modrofialových a zelených SMD LED. Matice má rozměry 6×6 LED, tedy 18 modrofialových a 18 zelených. Zdroj neuvádí přesné označení použitých LED, poskytuje však vybrané katalogové parametry, které jsou uvedené v tabulce 3.1.

	vlnová délka	pracovní napětí	pracovní proud
modrofialová LED	440 - 450 nm	3,2 - 3,4 V	350 mA
zelená LED	520 - 523 nm	3,2 - 3,4 V	350 mA

Tabulka 3.1: Katalogové hodnoty použitých LED

LED jsou obvodově uspořádány do 12 paralelních větví po 3 LED v sérii napájených stejnosměrným zdrojem 12 V [8]. Proudové omezení je pro každou větev realizováno stabilizátorem napětí LM317 zapojeným jako omezovač proudu. Celé zapojení LED matice je znázorněno na obrázku 3.1. Obvod je osazen jako plošný spoj na desce o rozměrech 18×18 cm. Z druhé strany desky je pro každou LED vyveden hliníkový pin jako chladič [8].



Obrázek 3.1: Schéma zapojení LED matice (převzato [8])

Řídicí jednotka a uživatelské rozhraní

Řídicí jednotka je umístěna zvlášť v samostatném dřevěném boxu, který je propojen se zásvuvným modulem a bezpečnostním světlem. Uživatelské rozhraní je zprostředkováno LCD displayem integrovaným na horní straně boxu [8]. Řídicí jednotka samotná, která je uložena uvnitř boxu, je založena na platformě Arduino Pro-Mini 3.3 V. Komunikuje s uživatelem a řídí časování a intenzitu zvlášť zelených a modrofialových LED. Aby bylo možno elektronicky nastavit gradaci, je nutno integrovat možnost dynamicky měnit výkon zvlášť modrofialových a zelených LED. Mezi zdroj napětí a šestici paralelních větví pro danou barvu je vložen tranzistor TIP120, fungující jako spínač proudu [8]. Ten je otevírán digitálním PWM signálem generovaným mikrokontrolérem. Z jeho pohledu je perioda PWM signálu osmibitovou sekvencí danou binárním číslem v rozsahu 0 až 255 a pro každou barvu LED lze tak nastavit 8 úrovní intenzity [8].

Pro zobrazení a nastavení parametrů expozice je použit bezbarvý LCD display z telefonu Nokia 5110. Program je uživatelsky řízen prostřednictvím dálkového ovládání na bázi infračerveného světla, které je na straně Arduina čteno připojeným IR senzorem [8]. K mikrokontroléru je mimo jiné připojeno relé pro spínání červeného bezpečnostního světla a jednoduchý reproduktor pro zvukovou signalizaci. Display je k nahlédnutí na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2: Detailní pohled na display uživatelského rozhraní (převzato [8])

Pro změnu a nastavení parametrů expozice jsou k dispozici následující uživatelské funkce [8]:

1. Nastavení úrovně kontrastu. Program poskytuje 7 možných úrovní, které odpovídají jednotlivým poměrům modrofialové a zelené.

2. Nastavení času expozice. Program umožňuje naplánovat čas hlavní expozice a k tomu čas až devíti po sobě následujících stejně dlouhých sekundárních expozic. Mezi každou obecnou expozicí je zvuková signalizace. Tyto sekundární expozice jsou vhodné především pro pořizování testovacích snímků expoziční zkoušky.
3. Mód ostření obrazu, který budí celou LED matici na maximální výkon. Složení světla však produkuje velice tmavý, až nevýrazný obraz. Autor článku tak udává doporučení přidat do matice ještě červené LED a ostřit čistě bílým světlem.

3.2 Úprava Durst Laborator 1200

Cílem úpravy je nahradit původní světelný zdroj spolehlivým zdrojem nízké spotřeby. Za tímto účelem je původní žárovka světelného zdroje nahrazena deskou se 4 RGB LED řízenými mikrokontrolérem Arduino Uno [9]. Uživatelské řízení je realizováno externě a blíže není popsáno. Toto řešení umožňuje zvětšování s čistě elektronickým řízením gradace bez použití filtrů. Implementace instaluje komponenty trvale přímo do hlavy zvětšovacího přístroje.

Úprava původní zvětšovací skříně

Z původní hlavy zvětšovacího přístroje je sejmuta světelná skříň a upravován je pouze kvádrový box s difuzorem. Jelikož požaduje implementace [9] větší rozptyl světla, je původní difuzor nahrazen dvojicí difuzních desek se vzduchovou mezerou 1 cm. Nad ně je do boxu instalována LED deska spolu s řídicí jednotkou, zdrojem napětí a relé. Stěny v prostoru mezi LED a difuzními deskami jsou pokryty bílým reflexním materiálem pro minimalizaci ztrát světelné energie. Pro komunikaci mezi řídicí jednotkou a nespécifikovaným uživatelským rozhraním je do boxu instalován 8-pinový konektor Dsub9 [9].

Nový světelný zdroj tvoří deska se čtyřmi LED články v rozích. Článek je tvořen trojicí LED a to červenou, zelenou a purpurovou. LED články jsou na desku umístěny takovým způsobem, aby zelené a purpurové LED byly co nejbližší rohům a červené LED, které se nepodílejí na expozici fotomateriálu, byly co nejbližší středu desky [9].

Použití purpurových LED s vlnovou délkou 410 nm namísto modrofialových (440 nm) vysvětluje autor textu [9] následovně: většina dostupných fotografických papírů vykazuje vyšší citlivost na nižší vlnové délky a k aktivaci suspenze AgBr všech tří citlivých vrstev

multigradačního fotopapíru je tedy třeba exponovat vlnovou délkou nižší než 420 nm. Popisovaná implementace tak dosahuje vyšší dosažitelné gradace, a tedy i většího dynamického rozsahu v nastavení kontrastu výsledného obrazu. K aktivaci suspenze AgBr není podle [9] třeba vysokých intenzit modrého světla. Purpurové LED jsou tedy buzeny příkonem 1 W, zatímco červené a zelené LED příkonem 3 W. Jednotlivé LED články jsou zespoda natřeny termopastou a celá deska je z horní strany doplněna pasivním chladičem. LED deska je i s boxem původního difuzoru k nahlédnutí na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Deska s LED články a box původního difuzoru (převzato [9])

Řídicí jednotka

Expozice fotomateriálu je dělena na dvě části. Nejprve je fotopapír exponován čistě modrým světlem, tedy za použití purpurových LED, a poté čistě zeleným světlem. LED jsou buzeny vždy na maximální výkon a gradace je nastavena pouze poměrem časů modré a zelené expozice [9]. O celé řízení se stará mikrokontrolér Arduino Uno, pomocí nějž lze nastavit oba požadované časy. Vyvedeno je tlačítko, jehož prvním stiskem je rozsvíceno červené bezpečnostní světlo a druhým stiskem bílé světlo pro ostření. Blíže není uživatelské řízení popsáno.

3.3 Úprava Durst Laborator 138S

Cílem implementace je upravit zvětšovací přístroj Durst Laborator 138S tak, aby bylo možné využít výhod jak kondenzoru, tak i difuzoru, jednobodového i vícebodového světelného zdroje. Implementace navrhuje systém výměnných zásuvných modulů s odpovídajícím uspořádáním LED [10]. Modul je kombinován buď s kondenzorem nebo navrženým difuzorem, viz sekce 2.3.2. Za účelem nastavení variabilního kontrastu je použita soustava zelených a modrofialových LED. Jako jednobodový zdroj světla je použita LED bílá.

Navržené zásuvné moduly se vkládají přímo do těla zvětšovacího přístroje na místo vybraných původních komponent [10]. LED světelný zdroj je u všech modulů instalován na samostatnou hliníkovou desku pomocí teplovodivé pasty. Katalogové hodnoty LED použitých pro nastavení gradace jsou uvedeny v tabulce 3.2. Níže jsou popsány LED konfigurace jednotlivých modulů.

	vlnová délka	pracovní napětí	maximální proud
modrofialová LED	455 - 465 nm	2,85 V	1000 mA
zelená LED	520 - 535 nm	3,1 V	1000 mA

Tabulka 3.2: Katalogové hodnoty použitých LED

Vícebodový zdroj světla s variabilním nastavením gradace

Světelná skříň pro tuto konfiguraci sestává ze dvou částí umístěných nad sebou a do zvětšovacího přístroje se zasouvá na místo původního kondenzoru. Obě části nové světelné skříně jsou vytvořeny ze starého zásuvného kondenzoru s odstraněnými spojnými čočkami, na místo kterých je umístěno difuzní bílé plexisklo a nad něj LED světelný zdroj [10]. Pro kumulaci světelné energie a současně i jako pasivní chlazení byly vnitřní stěny pokryty hliníkovou fólií.

Světelný zdroj samotný je tvořen z celkem 12 modrých a 12 zelených LED uspořádaných do 4 paralelně napájených větví [10]. Větev je vždy tvořena šesticí LED stejné barvy v sérii [10]. Fyzicky jsou LED na desce uspořádány do dvojic modrá-zelená a jejich konkrétní rozmístění lze vidět na obrázku 3.4 vlevo. Stabilizaci napětí a proudu pro každou větev zajišťuje ovladač LED BuckBlock A009-D-V-1000, který je buzen PWM signálem [10].

Simulace jednobodového zdroje světla s variabilním nastavením gradace pro použití s kondenzorem

Kondenzor lze kombinovat jen s jednobodovým zdrojem světla. Elektronické nastavení gradace však vyžaduje použití minimálně dvojice LED, modré a zelené. Implementace [10] řeší simulaci jednobodového zdroje použitím celkem 6 LED, tedy 3 modrých a 3 zelených, uspořádaných střídavě do kruhu. Obvod je rozdělen do 2 paralelních větví po 3 LED stejné barvy zapojených sériově [10]. Řízení intenzity LED je řešeno stejným způsobem jako v případě uvedeném výše. Takto navržená LED deska je umístěna do původní světelné skříně. Aby se charakter světelného svazku kruhového uspořádání přiblížil jednobodovému, je mezi LED desku a kondenzor umístěno mléčné difuzní sklo.

Jednobodový zdroj světla bez variabilního nastavení gradace

Tato konfigurace je nejbližší konvenčnímu uspořádání optické soustavy zvětšovacího přístroje. Žárovka je nahrazena bílou LED umístěnou v ose použitého původního kondenzoru [10]. LED deska je jako v předchozím případě umístěna přímo v původní světelné skříně a mezi ní a kondenzor je vložen šedý filtr, který snižuje intenzitu světla rovnoměrně na všech vlnových délkách. Výhodou tohoto řešení je produkce ještě ostřejšího obrazu než v případě kruhového uspořádání, nevýhodou naopak nutnost použití barevných filtrů pro nastavení gradace [10].

Realizace všech výše popsaných modulů je na obrázku 3.4.

Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je založena na platformě Arduino a je společná pro všechny zásuvné moduly. Uložena je v samostatném kovovém boxu a k modulům je připojována externě. Uživatelské rozhraní je realizováno jako dvojice displeje a maticové klávesnice. Intenzity LED jednotlivých modulů jsou řízeny digitálním pinem, který je buzen uživatelsky nastaveným PWM signálem [10]. Pro moduly s variabilním nastavením gradace je v programu integrována podpora pro kalibraci různých druhů fotopapírů podle systému ISO. Kalibrace je založena na výběru správného poměru intenzity modré a zelené pro dosažení požadovaného gradačního stupně [10]. K mikrokontroléru je mimo jiné připojeno i relé pro ovládání červeného bezpečnostního světla.

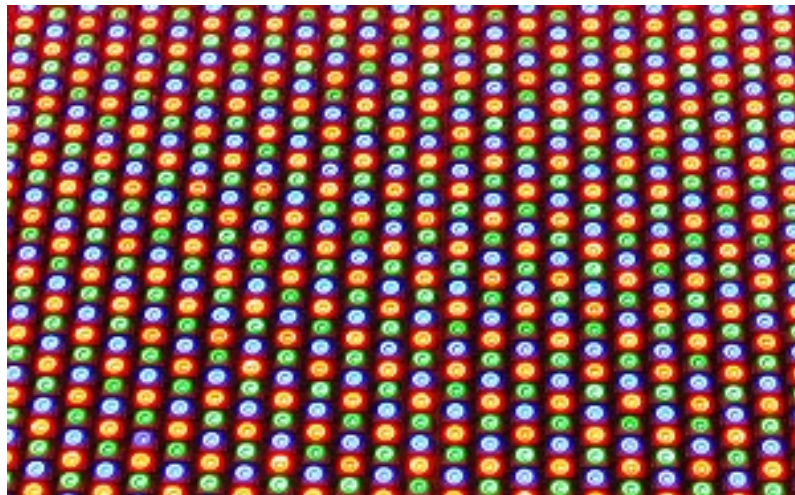


Obrázek 3.4: Jednotlivé konfigurace světelného zdroje, (zleva) vícebodový zdroj světla s variabilním nastavením gradace, simulace jednobodového zdroje světla s variabilním nastavením gradace, jednobodový zdroj světla bez variabilního nastavení gradace (převzato [10])

3.4 LED světelný zdroj od Heiland electronic

Toto komerční řešení nabízí kompletní, kompaktní zvětšovací hlavu s LED světelným zdrojem. Nejedná se tedy o úpravu existující světelné skříně, ale o její kompletní náhradu. Heiland electronic používá jemnější síť LED s menším výkonem, jednotlivé barvy lze individuálně řídit [11]. RGB složení použitých LED umožňuje variabilní nastavení gradace, implementuje bílé světlo pro ostření a červené bezpečností světlo přímo v hlavě zvětšovacího přístroje. Uživatelské řízení je realizováno bezdrátově pomocí mobilní aplikace [11]. Uspořádání světelného zdroje lze vidět na obrázku 3.5.

S možností kompletního řízení intenzity jednotlivých barev poskytuje toto řešení velmi jemný krok v nastavení kontrastu výsledného obrazu. Díky jemné síti a velkému počtu LED zaručuje výrobce vysokou stabilitu světelného zdroje, a tedy nízkou diferenci v pořízených snímcích [11]. Další výhodou je vysoká účinnost zdroje, která mimo nízkých časů expozice zaručuje minimální zahřívání negativu bez potřeby aktivního mechanického chlazení, a tedy i tichý chod.



Obrázek 3.5: Uspořádání LED světelného zdroje Heiland electronic (převzato [11])

Kapitola 4

Vlastní modernizace světelného zdroje

Popsaná vlastní implementace se inspihuje výše uvedenými případy a přidává nové funkční prvky s tím, že se řídí možnostmi a omezeními lokálního trhu. Projekt je realizován a testován na zvětšovací přístroji Meopta Axomat 5 [12] s použitím multigradačního fotografického papíru FOMASPEED Variant 311 12,7x17,8 CM [13].

4.1 Požadavky na navrhované zařízení

Z hlediska funkčnosti a účelnosti by navrhované zařízení mělo plnit následující:

- plné zastoupení původního světelného zdroje v celém rozsahu použitelnosti,
- integrace expozičních hodin,
- možnost elektronické volby gradace bez nutnosti použití původních barevných filtrů,
- možnost kalibrace světelného zdroje pro rovnoměrné nasvícení negativu v celé jeho ploše a korekci vad optické soustavy objektivu, zejména vinětace.

Zařízení musí v porovnání s původním zvětšovací přístrojem zajistit:

- nižší pracovní výkon, vyšší účinnost, a tedy i menší spotřebu,
- nižší tepelné ztráty, a tedy i menší zahřívání negativu bez nutnosti aktivního mechanického chlazení,
- kratší dobu expozice,
- jemnější krok ve volbě gradace.

Všechny úpravy nutné pro splnění výše uvedených požadavků musí být provedeny takovým způsobem, aby nedošlo k jakémukoli zásahu do původní konstrukce a zařízení tak šlo snadno navrátit do původního stavu.

4.2 Návrh světelného zdroje na bázi LED

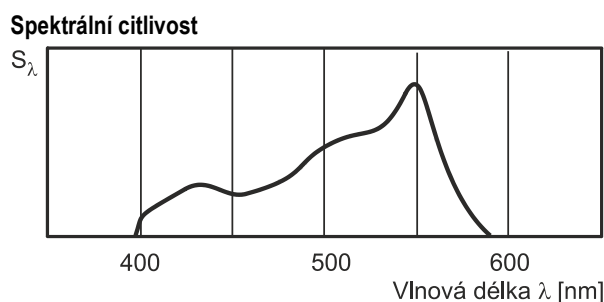
Největší výhodou LED světelného zdroje je oproti konvenčnímu zdroji velmi nízký příkon a vysoká účinnost. To umožňuje výrazně kratší časy expozice a konstrukci vícebodového světelného zdroje, který zajistí rovnoměrné nasvícení negativu v celé jeho ploše. RGB složení navíc umožňuje začlenění přídatných užitečných funkcí. Projekt využívá modro-zeleného spektra k elektronickému řízení gradace, červenou část pro integraci bezpečnostního světla přímo v hlavě zvětšovacího přístroje a kombinaci všech tří barevných složek ke generaci bílého světla pro ostření obrazu. Elektronickou adresací jednotlivých LED umožňuje měnit intenzitu a spektrální složení jednotlivých LED. Z hlediska rovnoměrného nasvícení tak lze kompenzovat nedostatky samotné navrhované konstrukce i vady původní optické soustavy, jako je například vinětace.

4.2.1 Výběr komponent a konstrukční řešení

Multigradační fotografický papír je citlivý na modrou a zelenou část spektra viditelného světla. Světelný zdroj by měl ideálně produkovat tři úzké spektrální čáry spadající do oblasti nejvyšší senzitivity jednotlivě pro modrou a zelenou, pro červenou naopak do oblasti s nejnižší, ideálně nulovou senzitivitou. Podle obrázku 4.1, který vyjadřuje přibližnou spektrální citlivost multigradačního fotopapíru FOMASPEED Variant 311 [13] jsou pro čáry nejvhodnější následující rozsahy:

- 420 až 440 nm pro modrou složku
- 535 až 555 nm pro zelenou složku
- 590 nm a výše pro červenou složku světelného zdroje

Z rozměrového hlediska je vhodné, aby navrhovaná matice odpovídala světelnému zdroji původní konfigurace. Světelný svazek původní žárovky prochází tepelným filtrem zasazeným v otvoru kovové přepážky. Svazek je v tomto bodě dráhy oříznut na průřez tepelného



Obrázek 4.1: Spektrální citlivost fotopapíru FOMASPEED Variant 311 (převzato [13])

filtru a rozptýlen. Zářící tepelný filtr lze v tomto případě považovat za světelný zdroj a navrhovaná konstrukce bude tudíž alespoň přibližně kopírovat jeho rozměry, tedy $7,5 \times 7,5$ cm. Dle požadavků ze sekce 4.1 se nabízí konstrukci zdroje řešit dvěma způsoby. Buď již hotovou individuálně adresovatelnou maticí RGB LED, nebo pomocí LED pásek s individuální adresací.

Kombinace adresovatelných LED pásek

Tento způsob spočívá v konstrukci vlastní matice s rozlišením 7×7 pixelů, tedy o rozměru pixelu 1×1 cm. Dostupné RGB pásy nemají vhodné spektrální složení modrého světla (vlnová délka až kolem 475 nm), a pro aplikaci jsou tedy použity dvě různé pásy: RGB s využitím pouze zelených a červených LED vhodných vlnových délek a modrofialová páska o vlnové délce z intervalu 420 až 440 nm. Pásy jsou rozděleny na sektory, po kterých ji lze nedestruktivně nastříhat, tedy rozdělit při zachování funkčnosti. U individuálně adresovatelných LED je jeden takový sektor tvořen LED diodou, popřípadě kombinací diod v pouzdře, předřadným sériovým rezistorem, případným ochranným paralelním kondenzátorem a řídicím čipem. Sektor má většinou 3 až 4 konektory: napájení, datový konektor pro řízení a společnou či oddělenou zem. Pixel konstruovaného světelného zdroje potom tvoří jeden RGB a jeden purpurový sektor. Jelikož je žádaný rozměr pixelu 1×1 cm, mohou pásy dosahovat maximální šířky jen 5 mm.

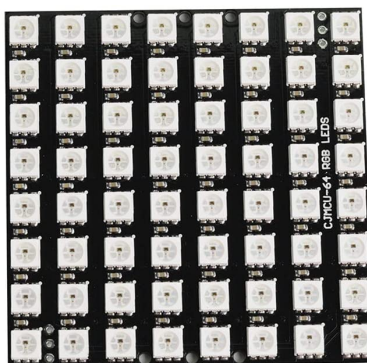
Výše popsáný model by byl ideálním řešením pro splnění podmínek stanovených v sekci 4.1. Lokální trh ale nenabízí adresovatelné pásy požadovaného rozměru, jejich nejmenší dostupná šířka činí 8 mm. To vede na maximální možné rozlišení 4×4 pixelů, což může znamenat omezení v citlivosti kalibrace světelného zdroje a v kompenzaci vad optické soustavy.

Hotová individuálně adresovatelná LED matice

Toto řešení nabízí v oblasti rozměrů vymezených původním tepelným filtrem oproti výše zmíněnému případu vyšší rozlišení okolo 8×8 pixelů. Matici tvoří adresovatelné sektory, z nichž každý obecně obsahuje jednu RGB LED, sériový předřadný rezistor, řídicí jednotku a případný paralelní ochranný kondenzátor. Řízení intenzity se provádí buď analogově nebo digitálně. Nevýhodou tohoto řešení je umístění všech tří RGB LED do společného pouzdra a tedy nemožnost výměny spektrálně nevhodné modré LED za modrofialovou, což v případě zvětšování fotografií vede na nižší maximální dosažitelnou gradaci.

Vyhodnocení a výběr

Na základě porovnání výše uvedených možností byla pro náhradu konvenčního světelného zdroje ve zvětšovací přístroji zvolena již hotová individuálně adresovatelná RGB LED matice WS2812 Neopixel 8×8 . Za cenu nižší maximální dosažitelné gradace poskytuje dvakrát vyšší rozlišení než možnost s LED páskami.



Obrázek 4.2: Matice WS2812 8×8 (převzato [14])

4.2.2 Adresovatelná LED s čipem WS2812

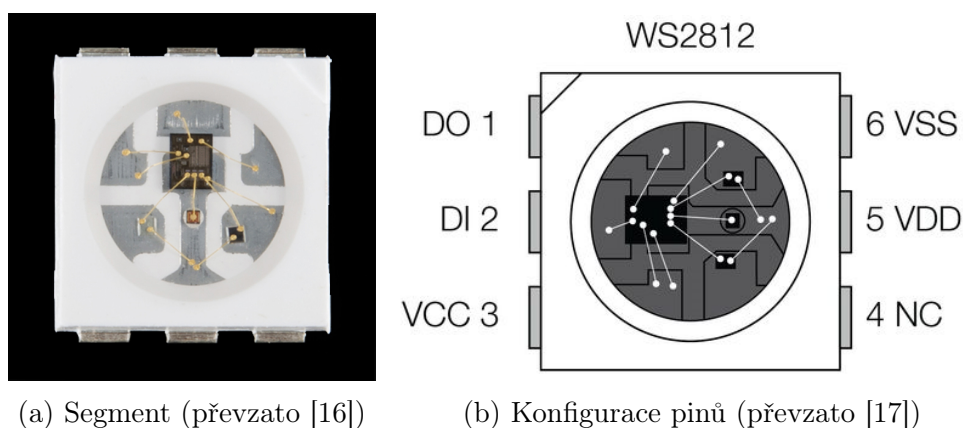
Řídicí čip WS2812 je se třemi LED, tedy červenou, zelenou a modrou, propojen mikrodrátky a umístěn ve společném pouzdrě s číselným označením 5050 tak, jak je znázorněno na obrázku 4.3a [15]. Popsaný segment je osazen šesti piny, z nichž je používáno pět: napájení řídicí jednotky (VCC), napájení LED (VDD), datový vstup (DIN), datový výstup (DOUT) a zem (VSS), viz obrázek 4.3b. Řídicí čip samotný obsahuje posuvný registr na

datovém vstupu DIN, přesný oscilátor, PWM obvod pro nastavení intenzity LED a koncový výkonový stupeň.

Barva	Model	Vlnová délka [nm]
Červená	13CBAUP	620 - 630
Zelená	13CGAUP	515 - 530
Modrá	10R1MUX	465 - 475

Tabulka 4.1: Model a vlnová délka LED integrovaných v segmentu s čipem WS2812

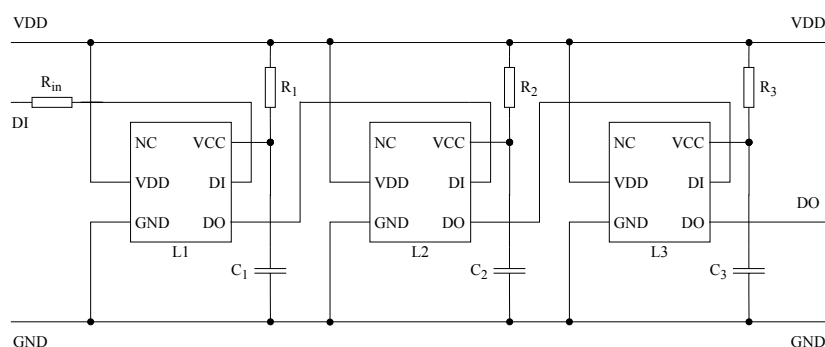
Segmenty WS2812 lze sériově spojovat, jak je znázorněno na obrázku 4.4, a všechny tak řídit jediným datovým vodičem [15]. V tabulce 4.1 jsou uvedeny rozsahy vlnových délek jednotlivých LED [15]. Zařízení pracuje na napájecím napětím v rozmezí 3,3 až 5,3 V s nejvyšším odběrem 60 mA při maximálním zatížení. Charakteristické napětí na datovém vstupu je podle specifikace [15] -0,5 až 0,5 V.



(a) Segment (převzato [16])

(b) Konfigurace pinů (převzato [17])

Obrázek 4.3: Uspořádání RGB LED segmentu s čipem WS2812 v pouzdře 5050



Obrázek 4.4: Sériové spojení tří WS2812 [18]

4.2.3 Řízení WS2812

Sériově spojené segmenty jsou řízeny jedním datovým vodičem, který je připojen na datový vstup (DIN) prvního WS2812. Každá ze tří RGB LED segmentu má 256 možných jasových úrovní daných střídou budícího PWM signálu. PWM je pro každou LED řízen 8-bitovou sekvencí na datovém vstupu vyjadřující jasové úrovně 0 až 255 [19]. Segment je tedy řízen posloupností 24 bitů, 8 bitů pro každou LED. Intenzity jednotlivých barev jsou aktualizovány s příchodem každé řídicí sekvence.

Komunikační protokol WS2812

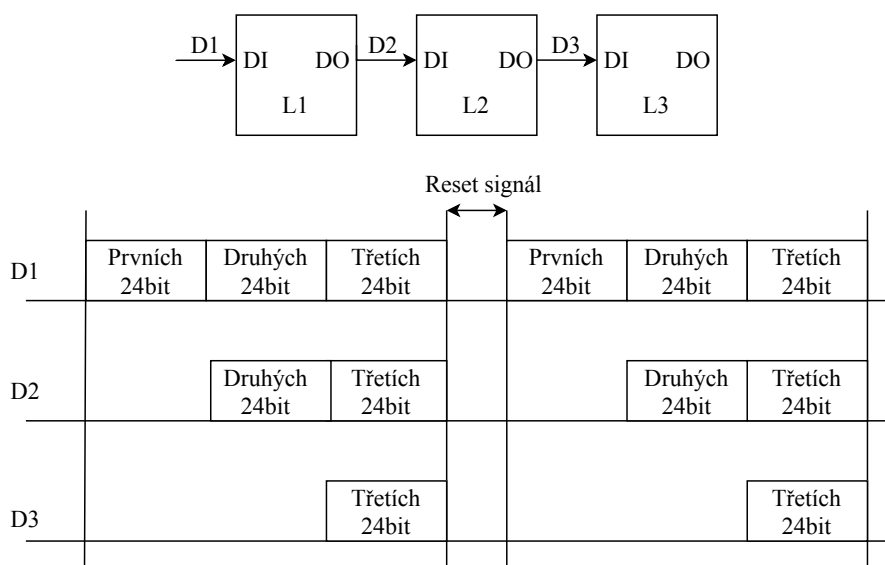
Datový rámec dlouhý 24 bitů je na datovém vstupu řazen ve formátu GRB [15]. Nejprve je odeslána 8-bitová sekvence pro nastavení střídy budícího PWM signálu zelené LED. Jako první se odesílá MSB ("Most Significant Bit") a poslední LSB ("Least Significant Bit"). Stejným způsobem je v daném pořadí odeslána sekvence pro červenou a modrou LED.

Pokud je sériově spojeno více segmentů, datový vstup prvního WS2812 přijímá řídicí sekvenci celé řady. Ta má výše popsany 24-bitový GRB formát skládaný přímo za sebou v pořadí, v jakém jsou segmenty zapojeny. Zpracováno je pouze prvních 24 příchodích bitů, tedy první přijatý datový rámec [20]. Ten je po zpracování zahozen a na datový výstup (DOUT) je se zpožděním 24 bitů odeslána zbylá bitová posloupnost. Při sériovém spojení N segmentů tak první segment v pořadí přijímá rámce celé kaskády, druhý segment N-1 rámců, poslední segment jen svůj jeden rámec. Rámcová kaskáda je ukončena reset signálem, kdy po dobu větší než 50 μs neprobíhá žádná komunikace. Rámcová komunikace v čase je pro segmenty L1 až L3 v sériovém zapojení znázorněna na obrázku 4.5.

Sériové rozhraní na vstupu i výstupu používá kódování NRZ [15], tedy bez návratu k nule, kde jsou obě logické úrovně reprezentovány obdélníkovým pulzem lišícím se šířkou. Vyjádření logické 1 a 0 je popsáno v tabulce 4.2 [20]. Všechny hodnoty mají toleranci $\pm 0,15 \mu\text{s}$.

logická úroveň	délka H stavu [μs]	délka L stavu [μs]
1	0,70	0,60
0	0,35	0,80

Tabulka 4.2: Vyjádření logických úrovní na sériovém rozhraní WS2812



Obrázek 4.5: Podoba vstupního signálu v čase pro 3 WS2812 v sérii [15]

PWM rozhraní

Řídicí jednotka WS2812 ke generaci řídicího signálu LED používá rozhraní PWM, které podle [15] generuje výstupní signál o frekvenci 400 Hz. Perioda PWM signálu je tedy 2,5 ms, což pro projekt znamená také nejmenší možnou změnu expozičního času, která do jeho nastavení vnáší dílčí chybu. Rovnice 4.1 vyjadřuje maximální relativní odchylku v nastavení expoziční doby způsobenou touto dílčí chybou δ pro zvolený čas expozice 1 s. Odchylka je v porovnání s používanými expozičními časy zanedbatelná a použití PWM pro nastavení intenzity LED tak nepředstavuje problém.

$$\delta = \frac{\pm 2,5ms}{1s} = \pm 0,0025\% \quad (4.1)$$

4.3 Řídicí jednotka a její hardwarové řešení

Řídicí jednotkou je mikrokontrolér, ve kterém je uložen hlavní program. Ten řídí chod světelného LED zdroje, prostřednictvím jednoho datového portu ovládá intenzitu jednotlivých RGB barev všech 64 LED a zprostředkovává komunikaci s uživatelským rozhraním.

4.3.1 Výběr komponent

Vybraný mikrokontrolér musí pro uvedenou aplikaci splňovat následující požadavky:

- minimální pracovní frekvence 2,5 MHz k zajištění správného formátu řídicího signálu LED desky podle komunikačního protokolu WS2812,
- dostatečné množství digitálních portů,
- rozhraní pro komunikaci s uživatelským prostředím (popřípadě k připojení komunikační periferie a dostupnost této periferie).

Výhodou může být dostupnost programové knihovny pro jednoduché řízení WS2812 podle předepsaného protokolu.

Na základě požadavků byl pro potřeby projektu zvolen mikrokontrolér Arduino Pro Mini 5 V. Hlavními důvody pro volbu byly fyzické rozměry a kompaktnost provedení, jednoduchost a přehlednost programového prostředí. Velkou výhodou rodiny Arduino je dostupnost nespočtu knihoven pro různé potřeby včetně řízení různých druhů LED ovladačů. Pro komunikaci s nezávislým uživatelským rozhraním bylo zvoleno bezdrátové komunikační prostředí Bluetooth Low Energy, neboli BLE či Bluetooth 4.0, které je na straně mikrokontroléru zprostředkováno přídatným modulem HM-10. Jednotlivé komponenty jsou detailněji popsány dále.

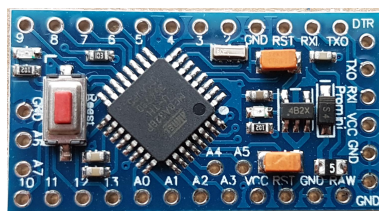
Arduino Pro Mini 5V

Arduino Pro Mini je vývojový mikrokontrolér řízený integrovaným obvodem ATmega328P. Poskytuje 14 digitálních IO pinů, z nichž 6 může být použito jako PWM výstup, 6 analogových vstupů, rezonátor a RESET tlačítko. Deska operuje na napájecím napětí 5 V a frekvenci 16 MHz.

Řídicí obvod ATmega328P poskytuje dle [18] 3 typy paměti [21]:

- paměť Flash jakožto programová paměť o velikosti 32 kB, z čehož je 0,5 kB určeno pro bootloader a zbytek pro uložení zdrojového kódu,
- SRAM, neboli Static Random Access Memory, o velikosti 2 kB pro uložení proměnných,
- EEPROM o velikosti 1 kB pro uložení dlouhodobých informací Paměť EEPROM se po odpojení napájení na rozdíl od SRAM nesmaže.

Integrovaný obvod ATmega238P dále poskytuje sériovou UART TTL komunikaci prostřednictvím pinů D0 (RX) a D1 (TX) [18], pro které je na desce integrován sériový monitor [22]. Dalšími podporovanými komunikačními sběrnicemi jsou I2C na pinech A4 a A5 a SPI na pinech D10, D11, D12 a D13. Piny D2 a D3 lze nastavit jako zdroje externího přerušení, které je vyvoláno při záznamu definované změny jejich stavu. K pinu 13 má deska připojenou integrovanou LED diodu. Každý z IO pinů může být zatížen maximálním proudem 40 mA. Pokud je zvolený IO pin nastaven jako INPUT, je jeho stav vyhodnocen jako H neboli logická 1, pokud je na něm napětí větší než 3 V, a jako L neboli logická 0 při napětí menším než 1,5 V [23]. Uspořádání mikrokontroléru i s označením jednotlivých pinů lze vidět na obrázku 4.6.



Obrázek 4.6: Arduino Pro Mini 5V (převzato [24])

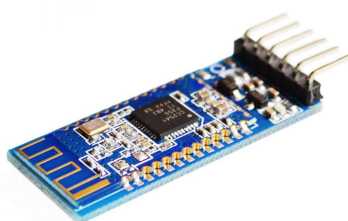
BLE modul HM-10

HM-10 je rozšiřující modul pro Arduino zprostředkující bezdrátovou komunikaci pomocí technologie Bluetooth Low Energy. Modul je postaven na integrovaném obvodu SoC CC2541 (anglicky System on Chip) [25], který pracuje na frekvenci 32 MHz a s Arduinem komunikuje prostřednictvím sériové linky s rychlostí 9600 Bd. Arduino tak přistupuje k periférii HM-10 pouze jako k sériovému rozhraní a o vysílání a příjem dat se stará řídicí obvod

modulu. HM-10 vysílá na frekvenci 2,4 GHz pásma ISM (industrial, scientific and medical) a podle [26] umožňuje komunikaci na vzdálenost až 60 m.

K zajištění základní sériové komunikace je třeba jen 4 pinů: napájení VCC, zem GND a sériová dvojice UART TX a UART RX. Nominální pracovní napětí modulu je 3,3 V. Na napájecím pinu VCC je připojen interní regulátor napětí a lze tak napájet napětím 3,3 až 6 V [27]. Proudový odběr modulu při napájení 5 V se pohybuje přibližně od 270 μA v klidu do 20 mA při zatížení [27]. HM-10 má tak velmi nízký maximální příkon 0,1 W.

Bluetooth Low Energy je protokol pro bezdrátovou nízko-výkonovou komunikaci. Na rozdíl od klasického Bluetooth není určeno k udržování stálého spojení a přenosu kontinuálních dat. BLE dosahuje nízkých výkonů přenosem malých a časově nepravidelných paketů [28]. Komunikace probíhá na vyžádání a není tedy třeba udržovat stálé spojení. Modul je k nahlédnutí na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7: BLE modul HM-10 (převzato [26])

Napájecí zdroj

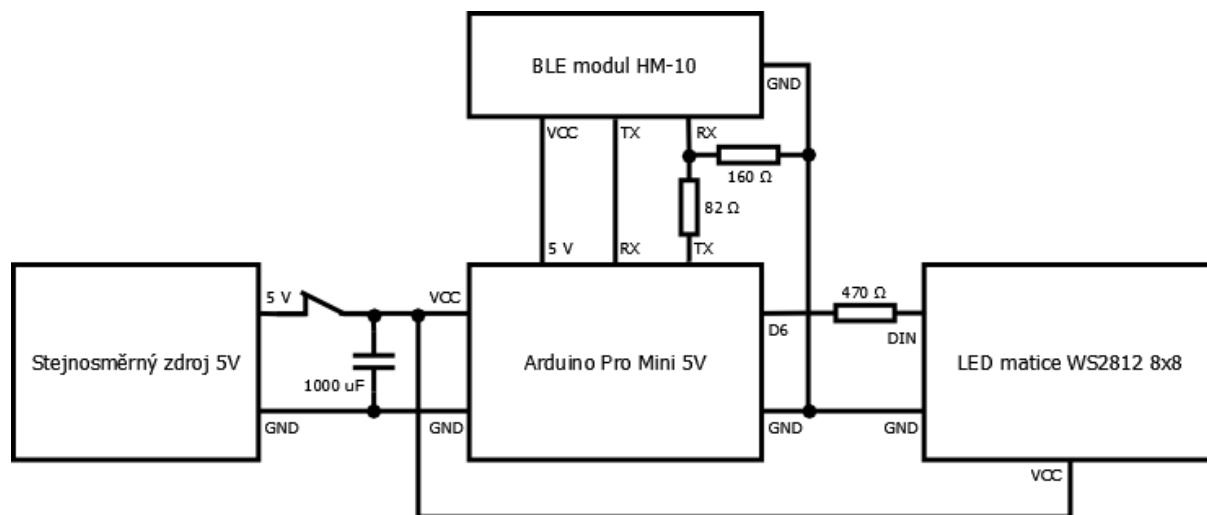
Podle sekce 4.2.2 odebírá jeden segment WS2812 při maximálním zatížení 60 mA. Při použití 64 RGB LED, tedy 64 takových segmentů, je to maximální možný odběr 3840 mA. Z hlediska ochrany a maximalizace doby života nejsou LED zatěžovány na více jak 50 % dosažitelného výkonu. Tomu odpovídá maximální odběr přibližně 1920 mA. Z toho důvodu i s dostatečnou rezervou pro chod řídicí elektroniky byl vybrán spínaný zdroj Mean Well GS18E05 5V 3A [29].

Vybraný zdroj má síťový vstup 100 až 240 V střídavého napětí, 50/60 Hz s maximálním odběrem 0,5 A a stejnosměrný výstup 5 V, 3 A. Podle katalogového listu [29] je účinnost zdroje 76,5 %, což s daným výstupem vede na maximální příkon 19,6 W. Už samotný zdroj má tak přibližně 7,5-krát menší maximální příkon než konvenční světelný zdroj, jehož příkon se většinou pohybuje okolo 100 W.

4.3.2 Popis systému

LED matice WS2812 8×8 je řízena digitálním datovým pinem D6 mikrokontroléru Arduino Pro Mini 5 V. Mezi tento pin a datový vstup LED desky DIN je podle doporučení [30] zařazen sériový rezistor 470 Ω, který chrání první LED segment matice WS2812 před náhodnými napěťovými špičkami. LED deska i Arduino jsou napájeny přímo z externího zdroje stejnosměrného napětí 5 V. Podle doporučení [30] je mezi kladný a záporný pól zdroje připojen ochranný paralelní kondenzátor 1000 μF jako ochrana LED před proudovými špičkami přechodového jevu.

BLE modul HM-10 je díky svému nízkému proudovému odběru napájen přímo mikrokontrolérem. Sériová komunikace je zajištěna dvojicí portů RX a TX. Na straně Arduina je dvojice reprezentována digitálními porty D2 a D3, které jsou pro sériovou komunikaci nastaveny pomocí knihovny SoftwareSerial. Jelikož Arduino pracuje na napětí 5 V a modul 3,3 V, je RX port modulu HM-10 připojen k mikrokontroléru přes dělič napětí, jehož poměr je vyjádřen vztahem 4.2. R_1 a R_2 jsou odpovídající odpory děliče, $U_{Arduino}$ je pracovní napětí mikrokontroléru a U_{modul} pracovní napětí modulu. Odpory R_1 a R_2 byly dle uvedeného vztahu zvoleny jako 82 Ω a 160 Ω. Na obrázku 4.8 je k nahlédnutí blokové schéma popisovaného systému.



Obrázek 4.8: Blokové schéma systému řídicí jednotky

$$\frac{U_{modul}}{U_{Arduino}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.2)$$

4.4 Návrh světelné skříně

Původní hlava zvětšovacího přístroje Meopta Axomat 5 sestává ze 2 odnímatelných částí: větší horní část, která obsahuje pouze žárovku se síťovým napájením a spodní část s difuzním sklem a spojnou čočkou. I když poskytuje horní část po vyjmutí žárovky značný prostor pro nové komponenty, nenabízí dostačující možnosti jejich zasazení bez zásahu do původní konstrukce. Kondenzor tvořený spojnou čočkou je ve spodní části zasazen do kruhového průřezu v podstavě. Ačkoli kondenzor v nové konfiguraci použit nebude, kruhový průřez by mohl být nevhodný pro použití s vícebodovým čtvercovým zdrojem světla a způsobovat vinětaci obrazu. Vhodným řešením uvedených nedostatků původní konstrukce je její kompletní nahrazení. Pro konstrukci nové světelné skříně se jako spolehlivá a intuitivní možnost nabízí 3D tisk.

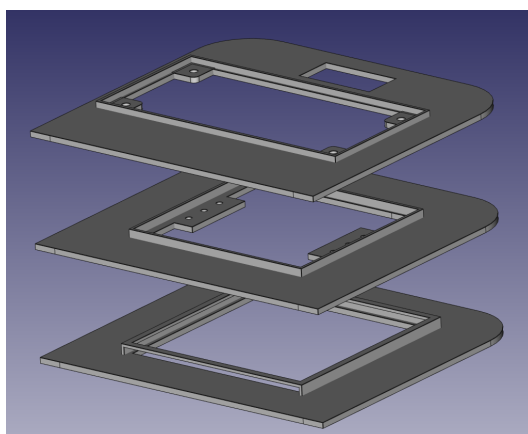
Konstrukce 3D modelu

Model pro 3D tisk je navržen v parametrickém modelovacím softwaru FreeCAD [31]. Navenek kopíruje tvar původní světelné skříně s tím rozdílem, že spojuje horní a dolní část. K zajištění snadného přístupu pro instalaci hardwaru je jedna ze stěn společně se stropem konstruována jako výsuvné dveře. Pro osazení jednotlivými komponenty je vnitřní konstrukce členěna do 3 výsuvných pater popsanych níže podle jejich umístění od nejnižšího po nejvyšší:

1. Difuzní patro s čtvercovým průřezem a kolejnicí pro zasazení difuzní desky o rozměrech 70×70 mm.
2. Patro pro osazení LED deskou s rozměry 65×65 mm.
3. Patro pro osazení plošného spoje se zbytkem hardwaru, tedy řídicí jednotkou, BLE modulem a přidruženými obvody. Deska plošného spoje má rozměry 100×50 mm.

Na obrázku 4.9 je detailní pohled na modely jednotlivých pater. Ve jedné ze stěn skříně je v prostoru nad nejvyšším patrem otvor pro kolébkový spínač a napájecí souosý konektor 5,5/2,1 mm typu vidlice.

Pro určení konkrétního umístění jednotlivých pater je nutné provést následující úvahy. Charakter a chování promítnutého obrazu závisí na dvou veličinách: vzdálenosti světelného zdroje od objektivu a úrovni rozptýlení světelného svazku. Pokud by byl zkoumán



Obrázek 4.9: 3D model jednotlivých pater

zvětšovaný obraz bez vložení negativu, tedy průmět samotného světelného zdroje, lze si všimnout, že se velikost průmětu mění se vzdáleností zdroje od rámečku na negativ. Se zvyšující vzdáleností se obraz zmenšuje, se snižující vzdáleností naopak zvětšuje. Toto chování je vlastností optické soustavy objektivu, která vychází z definičního vztahu příčného zvětšení vyjádřeného rovnicí 4.3, kde y_0 je velikost promítaného objektu (tedy vybraný rozměr LED matice), y velikost obrazu, a_0 vzdálenost objektu od středu optické soustavy a a vzdálenost obrazu. Znaménko mínus značí převrácení obrazu kolem osy optické soustavy.

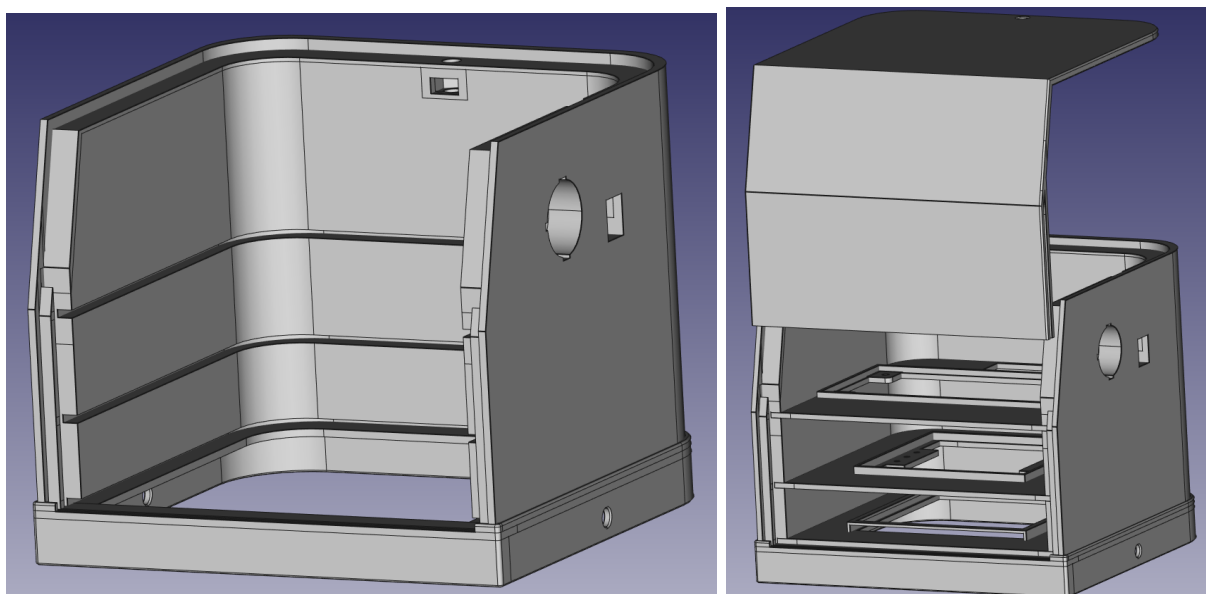
$$\frac{y}{y_0} = -\frac{a}{a_0} \quad (4.3)$$

V našem případě je velikost světelného zdroje y_0 a vzdálenost obrazu od objektivu a konstantní. Velikost obrazu y je tak nepřímo úměrná a_0 . Pro možnost kalibrovat rovnoměrné nasvícení negativu je nutné zvolit takovou vzdálenost a_0 , aby byla velikost obrazu světelného zdroje přibližně stejná jako větší rozměr průmětu negativu. Experimentálně byla zvolena nejvyšší přípustná vzdálenost světelného zdroje od rámečku na negativ jako 7 cm.

Úroveň rozptýlení je nutno volit tak, aby v obraze nebyly rozeznatelné jednotlivé LED a osvětlení bylo v celé ploše obrazu pokud možno homogenní, zároveň ale aby bylo možné alespoň přibližně řídit osvětlení v jednotlivých oblastech. Celková úroveň rozptýlení je závislá na rozptylu difuzního skla a jeho vzdálenosti od zdroje záření. Rozsah ve volbě vzdálenosti je omezený na 3 cm, tedy nejvyšší možné vzdálenosti světelného zdroje od

spodní podstavy neboli základny skříně. Je tedy nutné volit difuzní sklo s dostatečně velkým rozptylem.

Vzdálenost LED patra od základny skříně byla zvolena jako 2 cm a difuzní patro bylo umístěno těsně nad podstavu. Jako difuzor byla použita plastová rozptylná deska z LCD displaye starého notebooku nařezaná na 6 stejných ploch o rozměru 70×70 mm, které se v difúzním patře vkládají do společného pouzdra a jejich skládáním na sebe lze potom nastavit úroveň rozptylu v rozsahu 6 stupňů. Na obrázku 4.10a je model základní konstrukce s drážkami bez vložených pater a na obrázku 4.10b potom celý model nové světelné skříně.

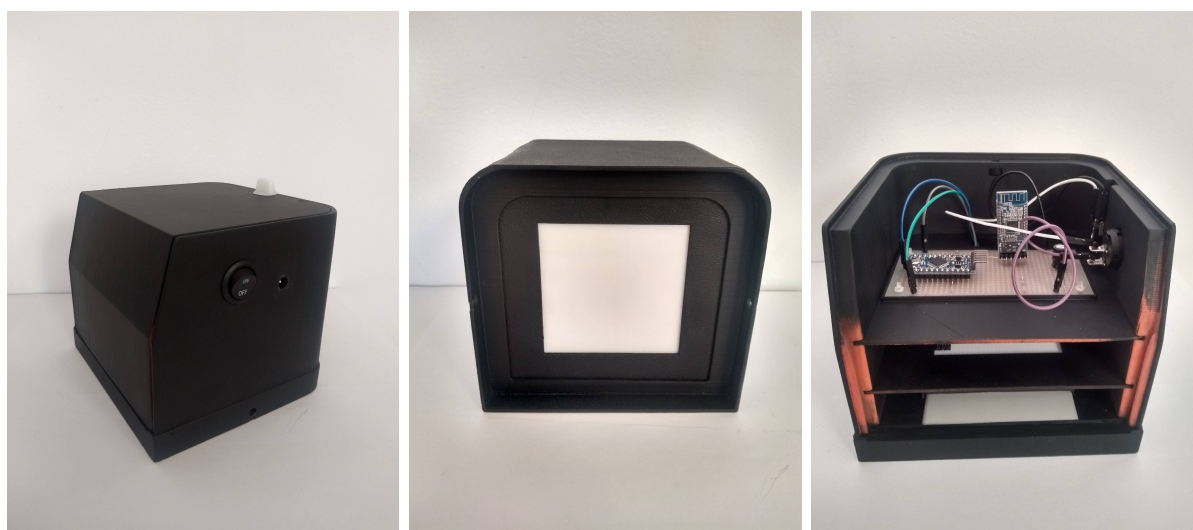


(a) základní konstrukce

(b) kompletní uspořádání

Obrázek 4.10: 3D model nové světelné skříně

Tisk byl proveden na 3D tiskárně ORIGINAL PRUSA MINI [32] s použitím materiálu PRUSAMENT PETG oranžové barvy [33]. Model byl pro možnost tisku vhodně rozřezán a po jeho provedení slepen vteřinovým lepidlem na plasty Loctite Power Flex [34]. Druhé a třetí patro bylo ponecháno volně v drážce a lze ho tedy v případě potřeby vysunout. Výtisk byl následně zbroušen a z důvodu eliminace odrazu nevhodných vlnových délek od plochy skříně přestříkán na černou univerzální akrylátovou barvou ve spreji PRIMALEX [35]. Komponenty jsou v těle upevněny plastovými šrouby. Na obrázku 4.11 je k nahlédnutí kompletní osazená skříň a na obrázku 4.12 ukázka světelného zdroje.

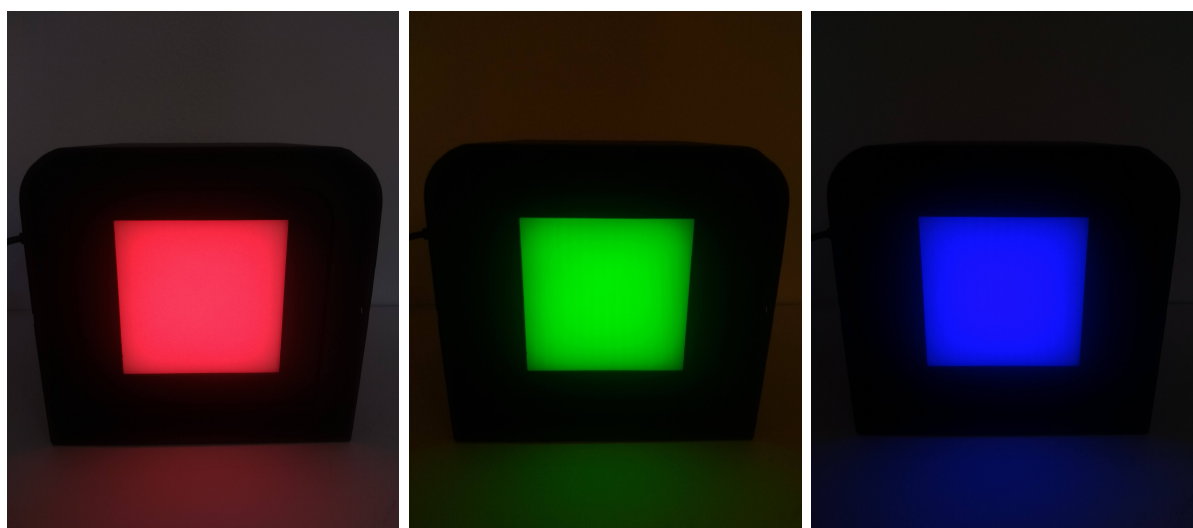


(a) vnější šikmý pohled

(b) spodní pohled

(c) vnitřní uspořádání

Obrázek 4.11: Kompletní osazená světelná skříň



(a) červená

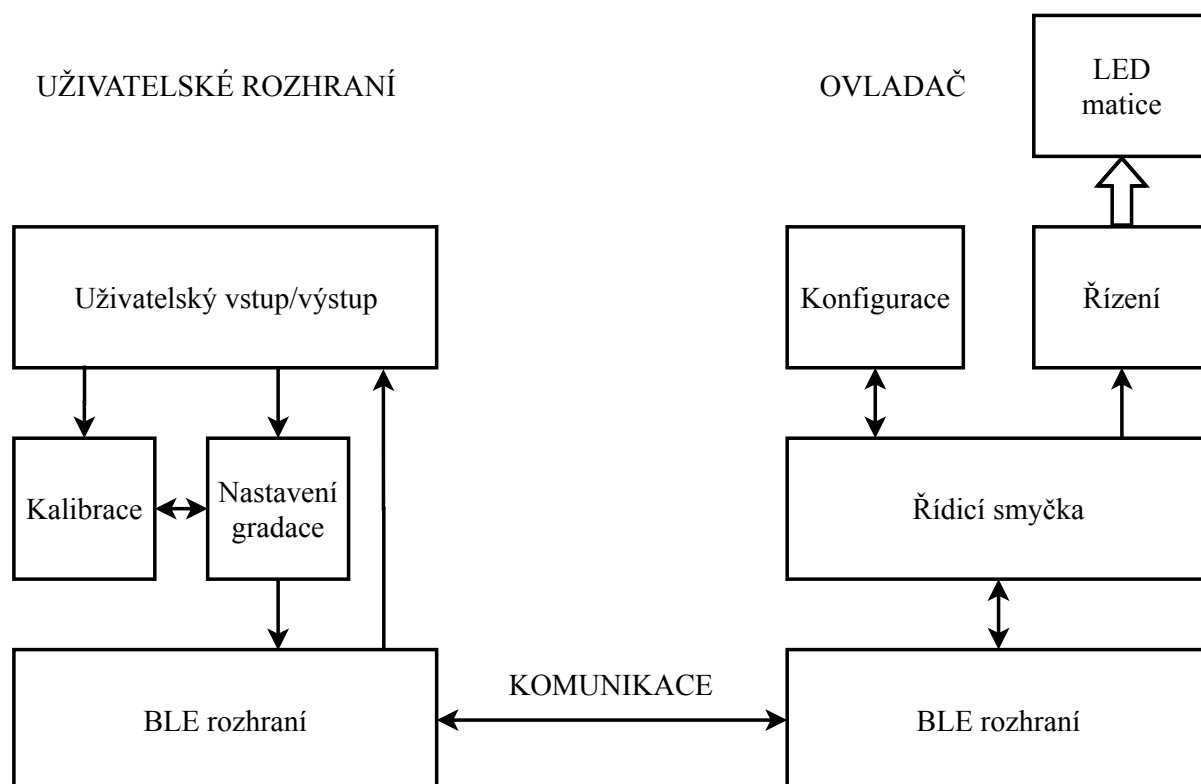
(b) zelená

(c) modrá

Obrázek 4.12: Ukázka světelného zdroje s použitím 3 základních RGB barev

4.5 Softwarová architektura

Software projektu sestává ze dvou samostatných jednotek: z ovladače světelného zdroje, který je uložen v řídicí jednotce, a odděleného uživatelského prostředí realizovaného na platformě Android. Ovladač poskytuje uživatelskému prostředí přístup k používanému hardwaru s určitou úrovní abstrakce. Stará se o řízení jednotlivých LED, poskytuje základní funkce pro řízení světelného zdroje a s uživatelským prostředím komunikuje prostřednictvím bezdrátového rozhraní Bluetooth Low Energy. Komunikace probíhá v jednodušší formě, předávají se především příkazy pro volání funkcí, jejich vstupní parametry, konfigurační data jednotlivých LED a diagnostické zprávy. Uživatelské rozhraní se tak ve zkratce stará jen o nastavení parametrů expozice a jejich odeslání ovladači. Orientační blokové schéma popsané výstavby je na obrázku 4.13.



Obrázek 4.13: Orientační blokové schéma softwarové architektury

4.5.1 Použité knihovny a nástroje

Ovladač světelného zdroje uložen v mikrokontroléru Arduino Pro Mini 5 V používá následující knihovny:

- SoftwareSerial.h
- Stdlib.h
- Stdio.h
- Math.h
- FastLED.h

K vývoji mobilní aplikace na platformě Android jakožto uživatelského prostředí je použit nástroj MIT App Inventor [36].

Knihovna SoftwareSerial

Knihovna slouží k zajištění sériové komunikace na pinech k tomu implicitně neurčených [37]. Mimoto poskytuje řadu funkcí pro čtení a zápis různých datových typů na sériové rozhraní. Projekt využívá knihovnu k řízení a správě pinů 2 a 3 sloužících jako komunikační spojení s BLE modulem, a tedy i samotným uživatelským prostředím. Implicitní sériové piny 0 a 1 jsou rezervovány pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a PC za účelem debugování.

Knihovna FastLED

FastLED je multiplatformní knihovna zajišťující řízení mnoha druhů adresovatelných RGB LED [38]. Stará se o přesné časování řídicího signálu, pro jehož zvládnutí by jinak byla třeba programování v assembleru. Knihovna poskytuje podporu práce v barevných prostorech RGB a HSV včetně řady matematických a paměťových funkcí pro jejich správu [39]. Funkce jsou laděny pro 8 bitové operace a pracují tak až 10-krát rychleji než obdobné funkce poskytované standardními Arduino knihovnami [38].

Pro reprezentaci a konfiguraci LED slouží dvě základní struktury, odpovídající dvěma podporovaným barevným prostorům, které po inicializaci sdružují informaci o adrese, stavu a barevném složení konkrétní LED [39]. Pro správu a manipulaci se strukturami poskytuje knihovna mimo již zmíněné matematické funkce řadu kontrolních, konfiguračních a vlnových funkcí pro řízení LED v čase.

MIT App Inventor

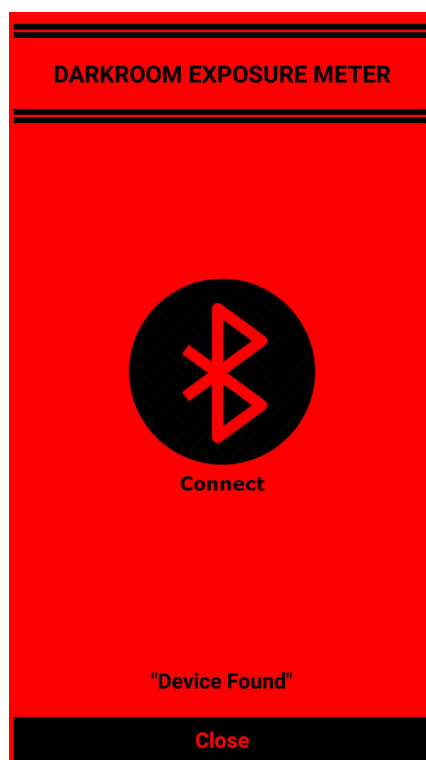
MIT App Inventor je intuitivní grafická online platforma pro vývoj mobilních aplikací systému Android spravována Massachusettským technologickým institutem. Vývoj probíhá v čistě webovém prostředí, které je rozděleno do dvou editorů. Designový editor je tzv. "drag and drop" uživatelské rozhraní pro návrh grafického layoutu aplikace a vývoj v něm zpravidla začíná. Vkládat lze elementy s již definovanou základní funkcí, jako je například jednoduché tlačítko, textové pole, obrázek či posuvník, které lze dále graficky upravovat [36]. Mimo ně lze přidávat i prvky neviditelné, jedná se především o ovladače dostupných senzorů a rozhraní jako jsou například Bluetooth, senzor teploty nebo akcelerometr [36].

Blokový editor je grafické prostředí, ve kterém probíhá výstavba programového pozadí jednotlivých elementů a vazeb mezi nimi. Vkládají a spojují se předdefinované bloky reprezentující základní kusy kódu, jako jsou příkazy a jejich skupiny [36]. Blokový editor je ve své podstatě značně zjednodušeným modelem klasického programovacího prostředí. Poskytuje známé funkční bloky reprezentující podmínky, smyčky, inicializaci proměnných různých datových typů a práci s nimi, definici a volání funkcí, a podobně.

4.5.2 Uživatelský vstup a výstup

Jelikož je mobilní aplikace určena pro použití v temné komoře, může vyzařování displeje nežádoucím způsobem ovlivňovat proces zvětšování a obecně veškerý odhalený fotografický materiál. Z toho důvodu je grafické prostředí provedeno čistě v červeném spektru, respektive v červeno-černé barevné škále, tedy v hodnotách RGB prostoru #000000 až #FF0000. Skutečné spektrální složení vyzařovaného světla bude dodatečně ověřeno v následující kapitole.

Uživatelské prostředí je z hlediska účelu jednotlivých prvků rozděleno do celkem čtyř obrazovek. Aplikace se spouští do obrazovky první, která slouží k navázání komunikačního spojení s ovladačem. Po spuštění je automaticky zahájeno skenování okolních BLE zařízení. V případě nalezení minimálně jednoho je skutečnost oznámena uživateli zprávou "Device Found" v dolní části obrazovky a po kliknutí na tlačítko "Connect" je na obrazovku vypsán seznam dostupných zařízení.



Obrázek 4.14: Úvodní obrazovka mobilní aplikace

Po výběru žádaného zařízení je ukončeno skenování, aplikace přejde na druhou obrazovku a pokračuje pokusem o připojení, o čemž je uživatel obeznámen formou dočasné notifikační zprávy. Stejným způsobem je uživateli předán důvod neúspěchu operace při nezdařeném pokusu o připojení. V takovém případě se musí uživatel vrátit na první obrazovku a opakovat celý proces. V případě úspěšného připojení je stav předán uživateli formou zprávy "CONNECTED" a ovladači je odeslána žádost o jeho softwarový restart, který vynuluje neaktuální konfiguraci světelného zdroje a zaručí její správnou reprezentaci v uživatelském rozhraní. Ukázka připojení je na obrázku 4.16.

Druhá obrazovka poskytuje kompletní balíček nástrojů pro přípravu expozice. V horní části obsahuje spínače bezpečnostního a bílého světla pro ostření, označené jako "Safe Light" a "Focus", a posuvník pro nastavení jejich společného jasů, respektive intenzity. Z bezpečnostního hlediska lze v jeden čas spustit jen jeden ze dvojice spínačů. V případě spuštění jednoho je druhý deaktivován a nereaguje na žádnou akci až do opětovného vypnutí spínače prvního. Toto opatření například zabraňuje uživateli zapnout bílé světlo při aktivní práci s bezpečnostním světlem. Žádost o provedení vybrané akce je ovladači v případě spínačů odeslána ihned se změnou jejich stavu, v případě veškerých posuvníků až se

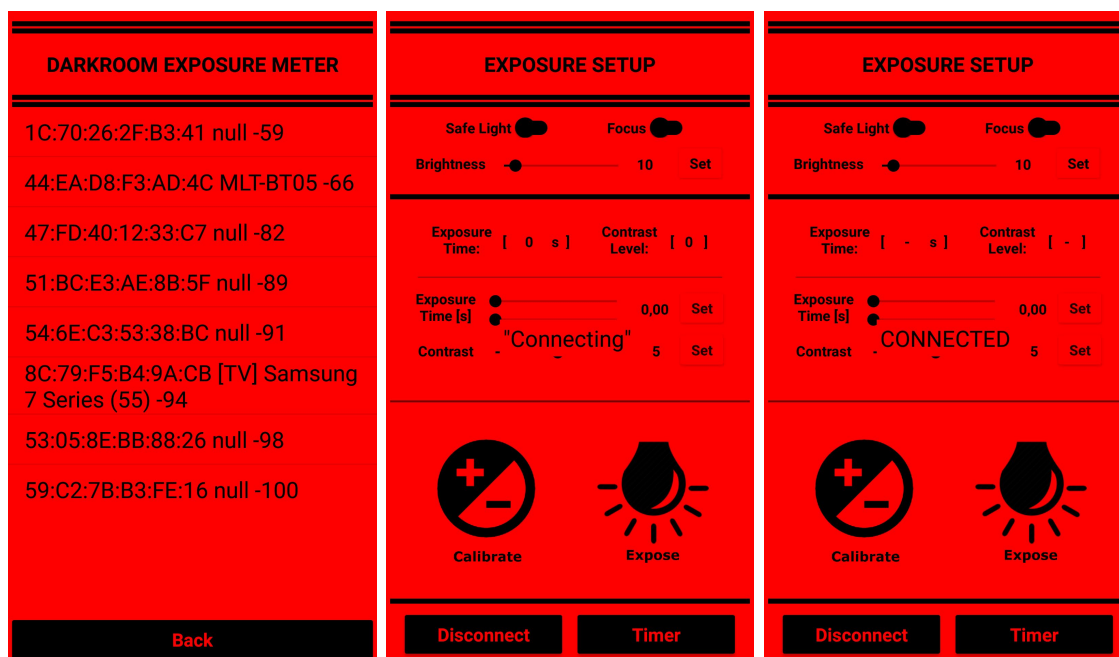
stiskem tlačítka "Set". Tento způsob brání zahlcení BLE komunikace při rychlých změnách hodnot posuvníků.

Dále je k dispozici nastavení samotných parametrů expozice, tedy expoziční čas a gradace. Čas je nastavován v sekundách a pro jeho volbu jsou k dispozici dva posuvníky, jeden pro celou část a druhý pro desetinnou část čísla. Čas lze potom nastavit v rozsahu 0 až 30,99 s. Pro volbu gradace slouží posuvník s 10 gradačními stupni. Po zpracování a odeslání parametru je očekáváno potvrzení ovladače o úspěšném přenosu. Jen v případě jeho doručení je parametr zapsán do aktuálního pole nad posuvníky jako jeho validní hodnota. Ukázka nastavení parametrů je na obrázku 4.16.

Ve spodní části obrazovky jsou dále tlačítka pro zahájení expozice, kalibraci světelného zdroje a odpojení aplikace od ovladače. Pro kalibraci je uživatel přesměrován na třetí obrazovku s maticí tlačítek 8×8 reprezentující LED desku světelného zdroje. V textovém poli tlačítka jsou pro danou LED uvedeny intenzity barev aktuální konfigurace ve formátu "zelená / modrá", které lze pro skupinu vybraných LED změnit barevnými posuvníky ve spodní části obrazovky, jak je naznačeno na obrázku 4.17. Výběr se provádí stiskem žádaného tlačítka a znázorněn je změnou barvy ze světle na tmavě červenou. Opětným stiskem je LED z výběru odebrána. Dlouhým stiskem libovolné LED je do výběru přidána celá matice, opakovaným dlouhým stiskem zase je odebrána. Stiskem tlačítka "Save" lze nastavenou konfiguraci uložit do paměti pro příští spuštění aplikace. Ukázka kalibrace je na obrázku 4.17.

Stiskem tlačítka "Expose" zpět na druhé obrazovce je ovladači odeslána žádost o zahájení expozice a uživatel je přesměrován na obrazovku s časovačem. Zobrazován je aktuálně zbývajícím časem běžící expozice, který je od ovladače přijímán s intervalem přibližně 0,1 s. Možná nepřesnost v zobrazení času je způsobena zpožděním na přenosové cestě včetně nenulového času zpracování informace. Po uplynutí času je expozice ukončena a uživatel je automaticky vrácen na předchozí obrazovku. Probíhající expozici lze předčasně ukončit stiskem tlačítka "Stop", které ovladači odešle odpovídající žádost.

Pro vyvolávání exponovaných snímků je na druhé obrazovce uživatelského prostředí k dispozici jednoduchý časovač "Timer", který odpočítává sekundy uběhlé od jeho spuštění tlačítkem "Start". Stisknutím tlačítka "Stop" je potom zastaven a vynulován. Časovač lze použít k měření časů pobytu exponovaného materiálu v jednotlivých chemikáliích vyvolávacího procesu.

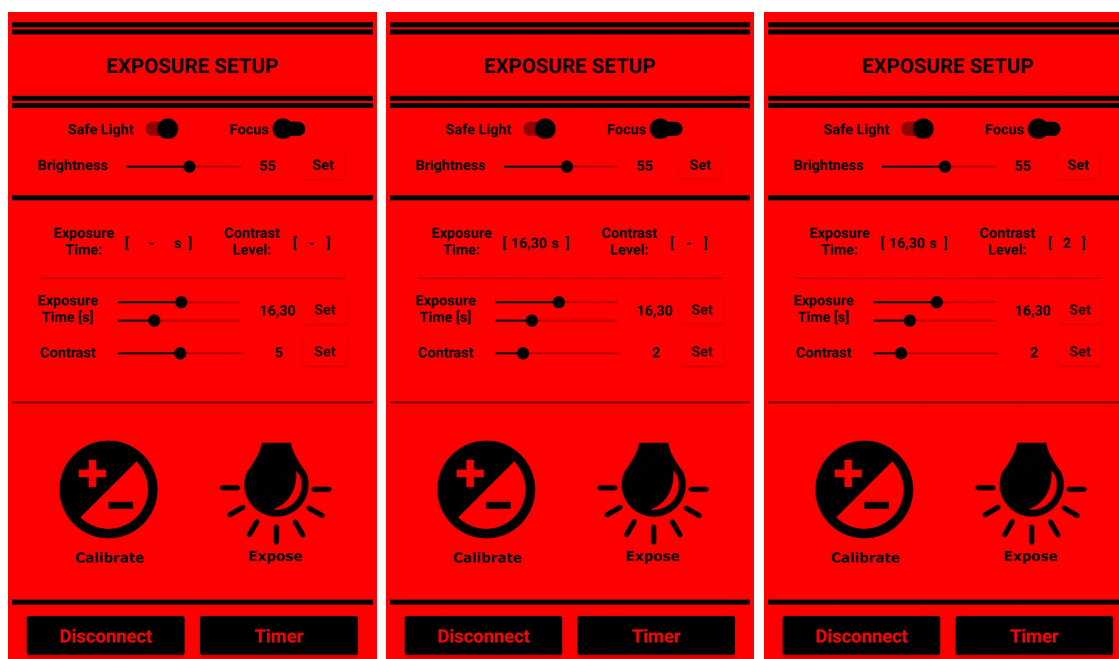


(a) výběr zařízení

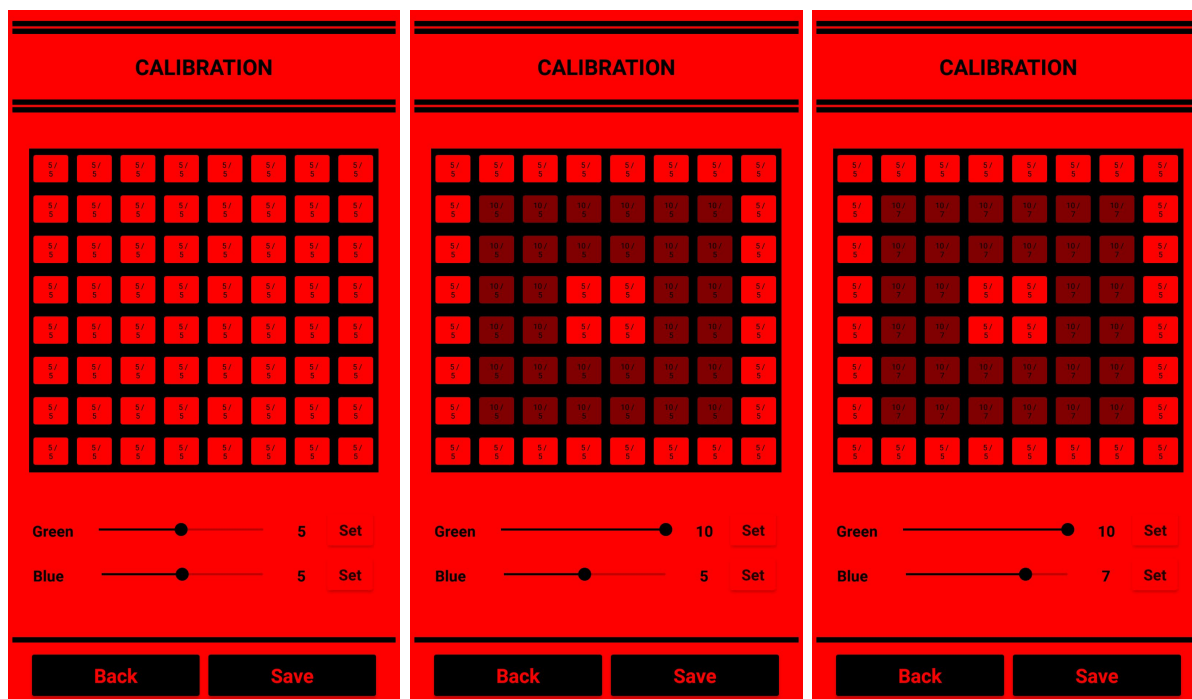
(b) připojování

(c) připojeno

Obrázek 4.15: Ukázka připojení mobilní aplikace k ovladači

(a) odeslání parametru
expozičního času(b) příjem potvrzení a
odeslání parametru gradace(c) příjem potvrzení,
expoziční příprava

Obrázek 4.16: Ukázka nastavení parametrů expozice v mobilní aplikaci



Obrázek 4.17: Ukázka kalibrace světelného zdroje v prostředí mobilní aplikace



Obrázek 4.18: Ukázka časovače expozice v mobilní aplikaci

4.5.3 Kalibrace a nastavení gradace

Kalibrace jako taková slouží k nastavení intenzit jednotlivých LED primárně za účelem korigovat vady optické soustavy zvětšovacího přístroje, popřípadě k jiným experimentálním či uměleckým účelům. Kalibrace světelného zdroje spočívá v nastavení modré a zelené konfigurační matice, která pro každou LED udává dynamický rozsah intenzity, ze které je při nastavení gradace volen příspěvek dané barvy. V ovladači je intenzita LED nastavena osmibitovým číslem s dekadickými hodnotami 0 až 255, dále nazývaného intenzitní poměr. Jedná se totiž o osmibitové vyjádření střídavy budicího PWM signálu, tedy poměru časů jednotlivých úrovní v rámci jedné periody. Intenzitní poměr 255 odpovídá střídě 100% a 0 střídě 0%. Pro ochranu před tepelným namáháním a prodloužení života by LED neměly být buzeny na více než 50% maximálního výkonu. Aby mohla být intenzita v uživatelském prostředí vyjádřena procentuálně a zároveň nedocházelo k zaokrouhlovací chybě, byla maximální hranice v nastavení dynamického rozsahu intenzitního poměru zvolena jako 100.

V programu vyjadřuje gradace poměr zelené a modré barvy pro expozici, kdy její minimální hodnota vede na nulové zastoupení modré a maximální hodnota na stoprocentní zastoupení modré. Jelikož jsou procentuální příspěvky barev počítány z kalibrovaných hodnot maximální intenzity, nelze gradaci ani dynamický rozsah volit libovolně. Volba obou proměnných je zredukována do pevně daného počtu úrovní s definovaným krokem a pro získání těchto parametrů je nutné provést následující úvahy:

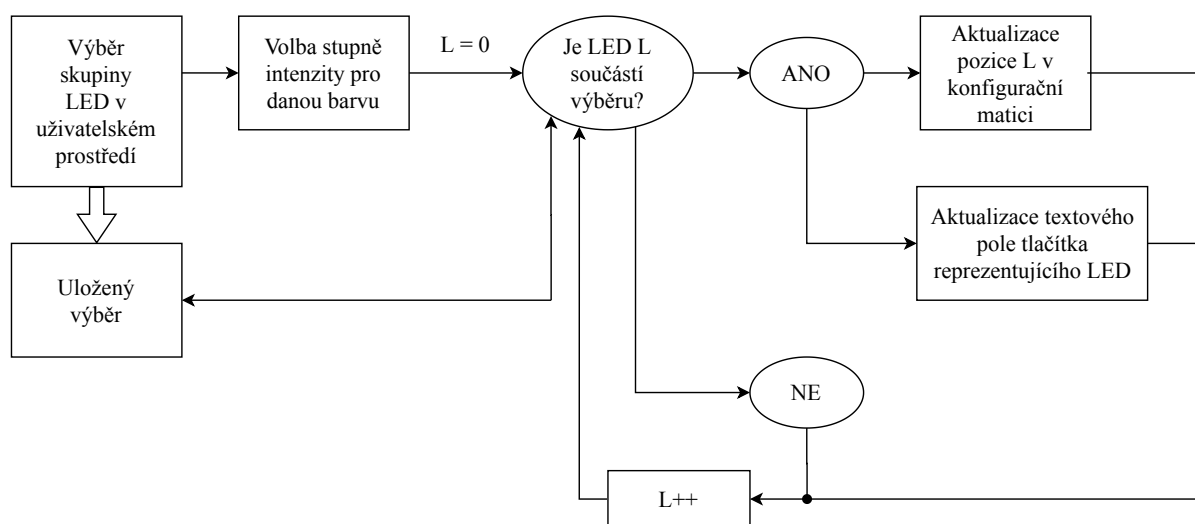
Citlivost ve volbě gradace musí být stejná pro všechny nenulové dynamické rozsahy, tedy i pro ten nejmenší. Krok v nastavení dynamického rozsahu intenzity K_D je tak roven počtu úrovní gradace I_G . Konstantní citlivosti gradace je potom dosaženo rovností $K_G = \frac{D}{I_G}$, kde K_G je krok v nastavení gradace a D zvolený dynamický rozsah intenzity. Při n -násobném zvýšení D se K_G zvýší také n -krát. Pro počet úrovní v nastavení dynamického rozsahu I_D potom platí rovnice 4.4, kde M_D je maximální hranice dynamického rozsahu zvolena jako 100. Citlivost v nastavení dynamického rozsahu je tedy nepřímo úměrná citlivosti gradace a zvýšení jedné z nich vede ke snížení té druhé. Jako kompromis byla pro oba počty úrovní I_G a I_D zvolena hodnota 10. Výše uvedené úvahy pracovaly jen s nenulovými hodnotami dynamického rozsahu a gradace. Připočítání nulových hodnot tedy vede na celkem 11.

$$I_D = \frac{M_D}{I_G} \quad (4.4)$$

Jednotlivým LED je v uživatelském rozhraní přiřazena kartézská souřadnice ve tvaru $[x, y]$, která vyjadřuje polohu průmětu LED v obrazu na fotopapíře. Vlivem optické soustavy objektivu a zrcadlení matice na fotopapír jsou souřadnice v programu oproti reálnému uspořádání převráceny kolem horizontální osy procházející středem matice. Všechny struktury reprezentující LED jsou dvojrozměrná pole s rozměrem 8×8 , jejichž prvky jsou uspořádány podle popsaných souřadnic. Mimo zmíněnou konfigurační matici se jedná o modrou a zelenou expoziční matici držící informaci o konkrétních intenzitách jednotlivých LED.

Průběh kalibrace

Kalibrace začíná výběrem skupiny LED, na které má být provedena změna dynamického rozsahu. Dále je proveden výběr z výše zmíněných 11 úrovní intenzity s označením 0 až 10, které po vynásobení 10 udávají procentuální zatížení LED z vybrané maximální hranice. Po výběru požadované intenzity a jejím potvrzení tlačítkem "Set" je zahájena aktualizace konfigurace dané barvy. Procházena je postupně celá konfigurační matice. V každém kroku je pro odpovídající LED kontrolována její přítomnost ve výběru. Pokud ano, je zvolená intenzita zapsána na tuto pozici v konfigurační matici stejně tak jako v textovém poli tlačítka reprezentující danou LED. Popsaný proces je znázorněn na obrázku 4.19 a probíhá stejným způsobem zvlášť pro nastavení modrého i zeleného rozsahu.



Obrázek 4.19: Naznačení průběhu kalibrace světelného zdroje

Při prvním spuštění aplikace je pro všechny LED obou barev nastavena implicitní úroveň intenzity 5. Kalibrovaná konfigurace je bez uložení platná jen do příštího zapnutí

aplikace, kdy jsou všechny proměnné nově inicializovány. Uložení konfigurace do trvalé paměti je potom přepsána implicitní konfigurace a matice je po dalším spuštění inicializována s novými kalibrovanými hodnotami.

Nastavení gradace

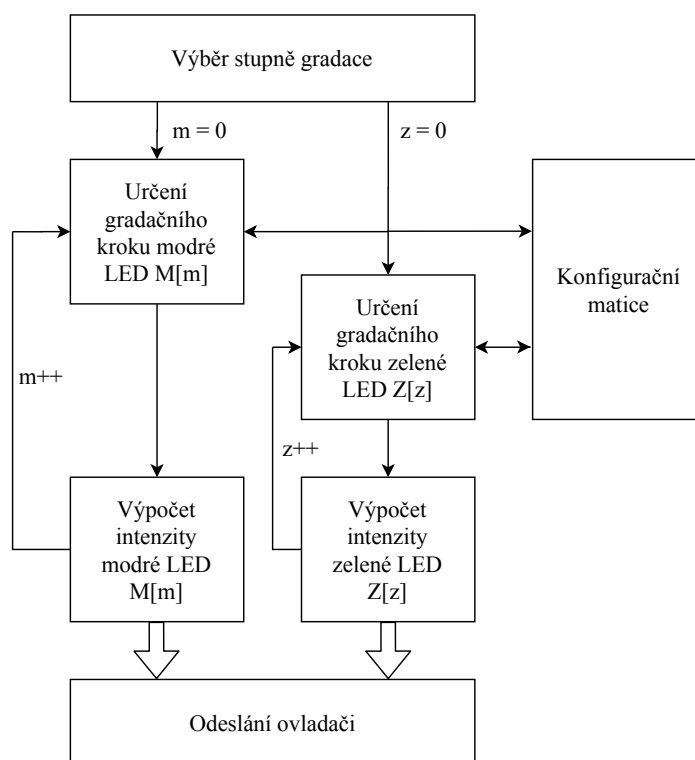
Jak bylo výše zmíněno, uživatelská volba gradace poskytuje celkem 11 úrovní s číselným označením 0 až 10. Číselný stupeň po vynásobení 10 vyjadřuje procentuální zastoupení modrého světla v celkovém složení pro expozici, kdy součet zastoupení zeleného a modrého světla je roven 100%. Po výběru úrovně gradace jsou postupně paralelně procházeny konfigurační i obě expoziční matice a pro každou LED jsou napočítány její konkrétní barevné intenzity. Jelikož mohou být dynamické rozsahy obou barev pro jednu LED různé, liší se i pomyslné gradační kroky těchto barev. Intenzity barev jsou potom počítány jako procentuální zastoupení v dynamickém rozsahu dané barvy.

Modrá intenzita je pro každou LED získána vztahem $A_M = G \cdot K_{GM}$ a uložena na odpovídající pozici v modré expoziční matici. Parametr G je zvolená úroveň gradace a K_{GM} gradační krok odpovídající dynamickému rozsahu modré barvy. Intenzita zelené barvy je nezávisle spočítána jako $A_Z = (I_G - G) \cdot K_{GZ}$, kde K_{GZ} je gradační krok pro zelenou barvu, a uložena na odpovídající pozici v zelené expoziční matici. Po nastavení všech LED jsou celé matice předány komunikačnímu bluetooth rozhraní a zvláště po sobě odeslány ovladači jako kompletní konfigurační balíčky. Po přijetí obou potvrzovacích zpráv je v uživatelském prostředí aktualizována validní gradace na právě zpracovanou hodnotu. Proces nastavení gradace je znázorněn na obrázku 4.20.

4.5.4 Komunikace mezi uživatelským rozhraním a ovladačem

Komunikace mezi ovladačem a uživatelským rozhraním je založena na jisté volné formě rámcového přenosu, která se liší v závislosti na směru komunikace. Směr uživatelské rozhraní - ovladač bude dále v textu označován jako směr dopředný, jelikož se jedná o komunikaci řídicí, zatímco směr ovladač - uživatelské rozhraní zajišťující zpětnovazební komunikaci jako směr zpětný.

Rámc v dopředném směru nemá pevnou délku, ale pouze definovanou strukturu. Jedná se o textový řetězec skládající se ze skupiny příkazových slov vždy zakončených oddělovacím symbolem " * ". Celá skupina je ukončena symbolem " / " a tvoří tak ucelený a kompletní



Obrázek 4.20: Naznačení průběhu nastavení gradace

příkaz pro vykonání konkrétní akce na konkrétním elementu ovladače. První příkazové slovo označuje mód ovladače, ve kterém má být akce vykonána. Módy jsou dva, preexpoziční a expoziční, a specifikují, zda má následná akce vliv na konfiguraci a řízení expozice, či nikoliv. Druhým příkazovým slovem je označení události, respektive entity, na které má být akce provedena. Třetím již nepovinným slovem je jednočíselný argument akce. Všech dalších nepovinných 64 slov popisuje číselný obsah dvojrozměrného pole 8×8 pro konfiguraci LED matice. V tabulce 4.3 jsou uvedeny vybrané příklady komunikačních rámců v dopředném směru.

Akce	Příkazový rámec
Zapnutí bezpečnostního světla	preexp*sl*1*/
Vypnutí bezpečnostního světla	preexp*sl*0*/
Nastavení času expozice	exp*time*7,50*/
Spuštění expozice	exp*start*/

Tabulka 4.3: Příklady rámců pro vybrané příkazy komunikace ve směru uživatelské rozhraní - ovladač

Rámec v zpětném směru nemá žádnou pevně definovanou formu. Obecně se jedná o krátké diagnostické, potvrzovací či informační textové zprávy. Obsahují jedno až tři slova, která narozdíl od dopředné komunikace nemusí být v hierarchickém vztahu. Slova jsou vzájemně oddělena symbolem " _ " a celý řetězec je zakončen volně.

Realizace a zabezpečení řídicí komunikace

Dopředná rámcová struktura popsaná výše vyžaduje odeslání rámce o velikosti až 272 bytů přes rozhraní BLE, které na platformě Android omezuje maximální velikost aplikačních dat v paketu na 20 bytů [40]. Řešením je segmentace řídicího rámce a jeho následné složení na straně ovladače. Segmenty jsou odesílány po jednom vždy po potvrzení druhé strany o zpracování předchozího. Přijatý segment je uložen do vstupního bufferu ovladače těsně za ten předchozí a uživatelskému rozhraní je odeslána potvrzovací zpráva ve tvaru "ACK". Po doručení zprávy pokračuje komunikace odesláním dalšího segmentu v pořadí. Pokud není potvrzovací zpráva doručena do 3 s od odeslání paketu, je uživateli předáno oznámení o překročení časového limitu operace a předávání řídicího rámce je předčasně ukončeno. Řádný konec nastává s přijetím potvrzovací zprávy po odeslání posledního segmentu řídicího rámce.

Průběh řídicí komunikace

Po uživatelské výzvě o provedení akce na ovladači je podle výše popsané struktury složen řídicí rámec. Ten je předán softwarovému bluetooth rozhraní, které se postará o jeho segmentaci a zabezpečené odeslání. Segmenty jsou na straně ovladače postupně přijímány a v řadě za sebou skládány do společného textového pole. Pokud daný segment obsahuje ukončovací symbol " / ", je celý řetězec předán k analýze a rozdělení na jednotlivé kontrolní části. Obsah řídicího rámce je čten vždy do dalšího výskytu oddělovacího symbolu " * ", získané slovo je porovnáno se známými příkazy a výsledek operace je uložen do příkazové řídicí struktury. Nepovinné číselné argumenty jsou do struktury ukládány rovnou, a to podle charakteru buď jako celočíselný datový typ, desetinné číslo nebo dvojrozměrné pole 8×8, do kterého je jednorozměrný řetězec rozřazen podle známého pořadí zápisu. Postup je opakován pro všechna slova rámce a po dosažení ukončovacího symbolu " / " je hotová příkazová struktura předána ke zpracování.

4.5.5 Řídicí smyčka ovladače

Řídicí smyčka přijímá příkazy od uživatelského rozhraní a na jejich základě vykonává konkrétní akce na LED zařízení nebo jeho softwarové konfiguraci. Žádná akce není sama vyvolána bez vstupního signálu, který přichází vždy z uživatelského rozhraní. Ovladač je mu tak plně podřízen. Sám o sobě se stará pouze o řízení a časování už probíhající expozice.

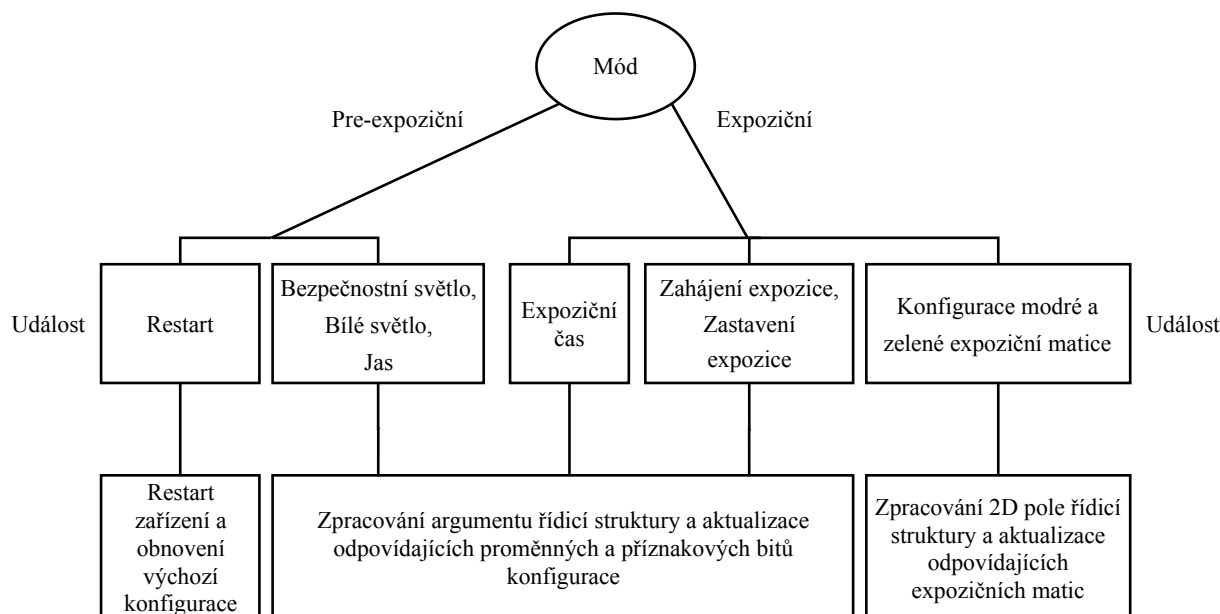
Vstupním signálem řídicí smyčky je příkazová struktura přicházející z bluetooth rozhraní. Struktura obsahuje informaci o módu a události akce včetně potřebných číselných argumentů a teprve jejím přijetím je cyklus řídicí smyčky přesměrován ke zpracování příkazu. To začíná aktualizací stávající konfigurace, která v závislosti na typu příkazu pokračuje konkrétním řízením LED desky.

Konfigurace

Při aktualizaci konfigurace jsou porovnávány prvky řídicí struktury se známými slovy a příkaz je směřován k cílené akci. První řazení probíhá na základě módu, druhé na základě události. Množinu událostí pre-expozičního módu tvoří konfigurace bezpečnostního světla, bílého světla pro ostření, jejich jasu a výzva k restartu zařízení. Pokud dojde ke shodě, je do konfigurační proměnné vybraného elementu zapsán celočíselný argument řídicí struktury. V případě bezpečnostního a bílého světla nabývá hodnot 0 a 1 signalizujících zapnuto, respektive vypnuto, a v případě jasu hodnoty 0 až 100 vyjadřující intenzitu LED. Po aktualizaci konfigurace je nastaven příznakový bit pro pozdější aplikaci parametrů na samotnou LED matici. Pokud je vyžádán restart zařízení, je tak provedeno rovnou. Restart slouží k přepsání veškeré konfigurace a všech proměnných na implicitní hodnoty.

V rámci expozičního módu jsou obdobným řazením událostí nastavovány barevné matice pro pozdější expozici a expoziční čas spolu s příznakovými bity pro zahájení a zastavení expozice. Barevné matice jsou dvojrozměrná pole 8×8 udávající pro každou LED intenzitu konkrétní barvy danou vybranou úrovní gradace. Matice jsou dvě, modrá a zelená, a svou strukturou kopírují fyzické rozložení LED na desce. Při shodě odpovídající události je dvojrozměrné pole řídicí struktury jednoduše prvek po prvku překopírováno do matice odpovídající barvy. V případě expozičního času je kopírován desetinný argument, který je před uložením do konfigurační proměnné přepočítán na milisekundy. Pro start a ukončení expozice je nastaven příslušný příznakový bit podle celočíselného argumentu, který nabývá hodnot 0 a 1, a dále je předána žádost k aplikaci konfigurace na samotné LED za-

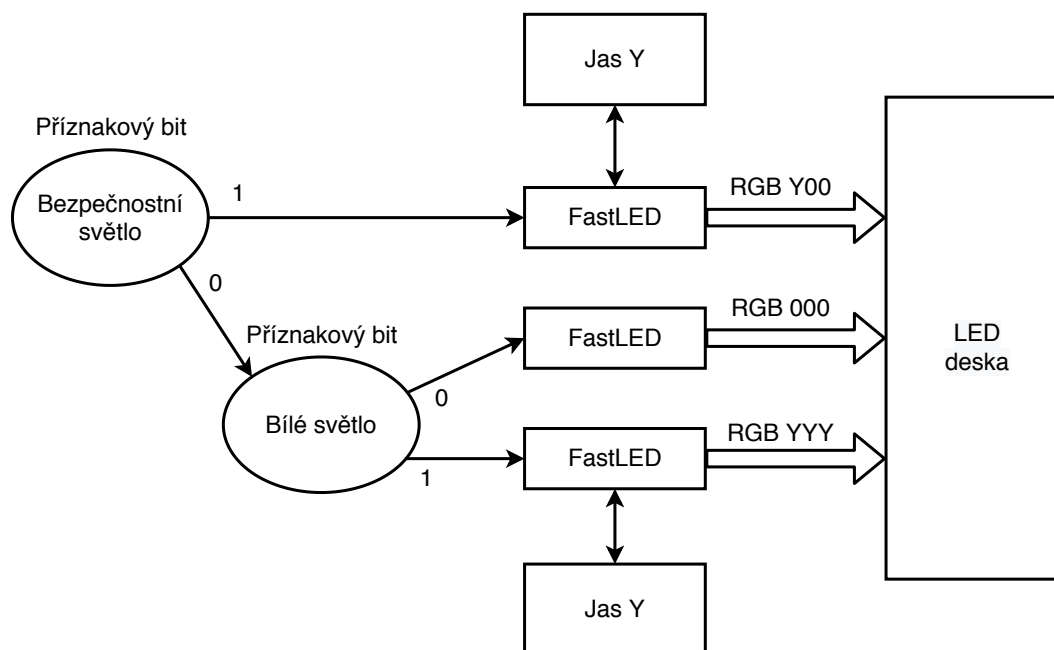
řízení prostřednictvím nastavení příznakového bitu pro řízení. Popsaný proces aktualizace konfigurace je naznačen na obrázku 4.21.



Obrázek 4.21: Naznačení průběhu konfigurace ovladače

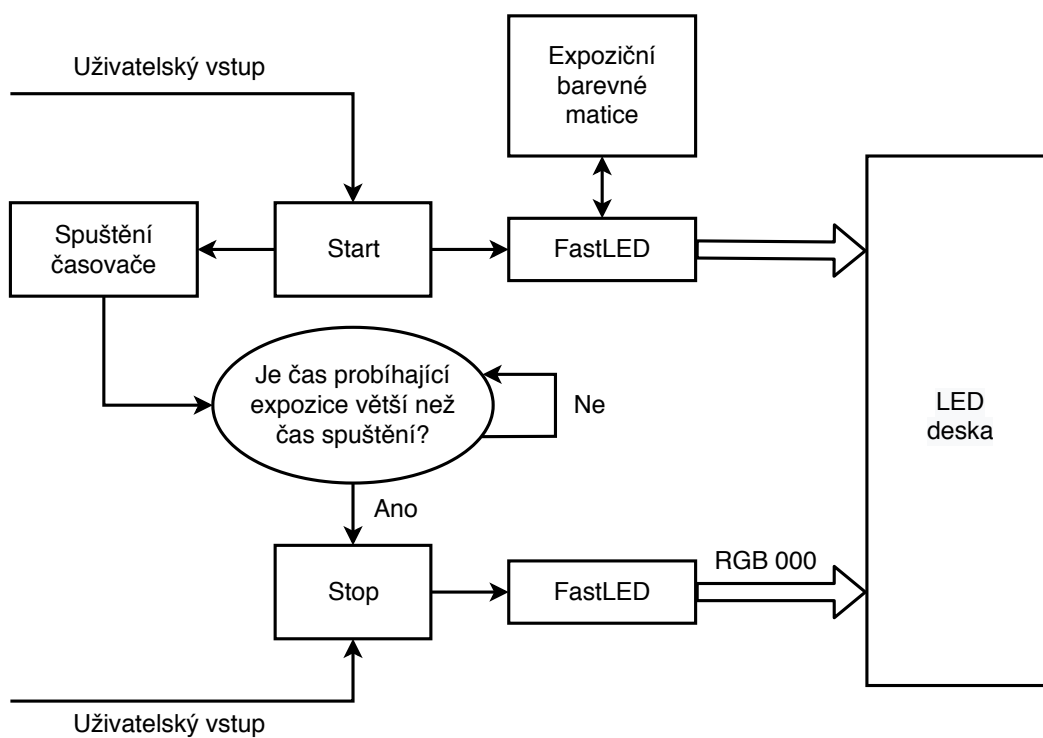
Řízení

Řízení LED desky proběhne v cyklu řídicí smyčky jen pokud je nastaven příznakový bit pro řízení. Stejně jako konfigurace je i řízení rozděleno do dvou oblastí podle příkazového módu. V tom pre-expozičním nastavují příznakový bit pro řízení všechny akce na světelném zdroji. V takovém případě jsou kontrolovány konfigurační hodnoty tohoto módu a podle nich je světelný zdroj jednorázově nastaven. Pokud je příznakový bit bezpečnostního i bílého světla nulový, je celá LED matice pomocí funkce knihovny FastLED zhasnuta. Pokud je příznakový bit bezpečnostního světla roven 1, jsou v celé matici rozsvíceny jen červené LED a to s intenzitou rovnající se nastavené hodnotě jasu. V případě bílého světla pro ostření jsou stejným způsobem rozsvíceny všechny RGB LED matice. V situaci, kdy by došlo k chybě a příznakové bity obou světel byly rovny 1, spustí se jen červené světlo, které má z bezpečnostního hlediska vyšší prioritu. Po dokončení obsluhy světelného zdroje je příznakový bit pro řízení vynulován. V pre-expozičním módu tedy proběhne celé řízení jen v jedné iteraci řídicí smyčky. Popsaný postup je naznačen na obrázku 4.22.



Obrázek 4.22: Naznačení průběhu řízení světelného zdroje v pre-expozičním módu

V expozičním módu je řízena samotná expozice. V případě nastaveného příznaku pro její zahájení jsou všechny zelené a modré LED rozsvíceny s intenzitou podle barevných matic konfigurace s příslušnými souřadnicemi, zatímco všechny červené LED jsou vynulovány. Spuštěním časovače je zahájen odpočet, který je v každé iteraci smyčky kontrolován. Po každém uplynutí desetiny sekundy je uživatelskému rozhraní odeslán čas do ukončení expozice formou zprávy ve tvaru "EXP_timeout_t", kde t je čas v sekundách s přesností na jedno desetinné místo. Po dosažení požadovaného času expozice je nastaven příznakový bit pro její zastavení. Nezáleží, zda byl nastaven přetečením časovače nebo uživatelem v rámci konfigurace, v obou případech dojde k vypnutí světelného zdroje. Až tehdy je vynulován příznakový bit pro řízení a celá expozice ukončena. Průběh je naznačen na obrázku 4.23.



Obrázek 4.23: Naznačení průběhu řízení světelného zdroje v expozičním módu

Kapitola 5

Test navrženého zařízení

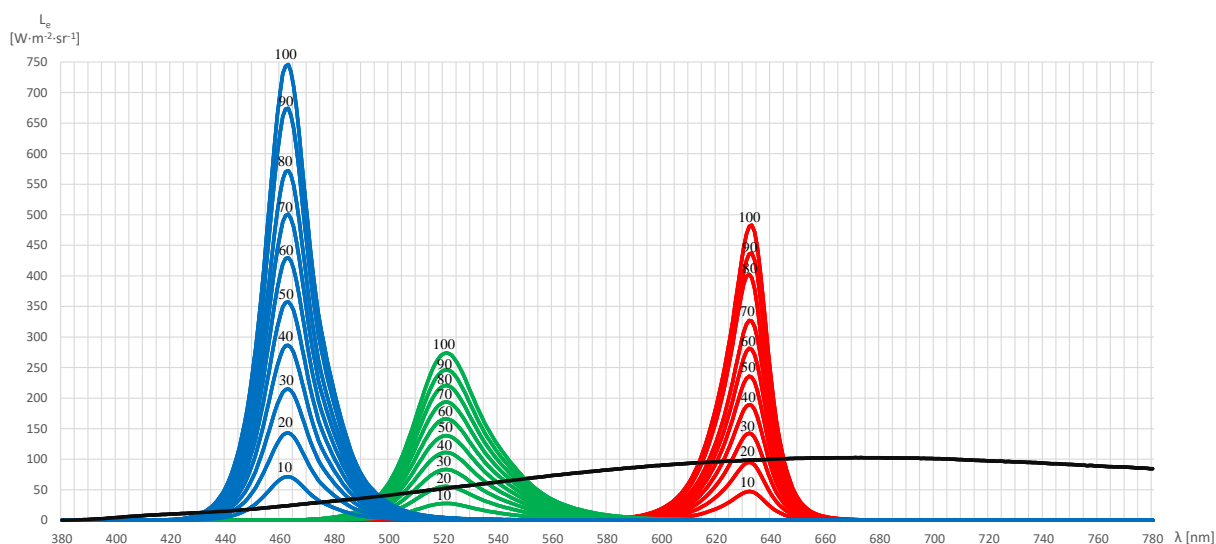
Zařízení bylo navrženo jako modernizace zvětšovacího přístroje Meopta Axomat 5 [12], a tudíž je na něm i testováno. Cílem je prakticky ověřit funkčnost systému jako celku, a to především zda je zařízení schopno úspěšného zvětšování fotografií a elektronického řízení gradace. Za tímto účelem je navrženou soustavou zvětšeno několik testovacích snímků a změřeno spektrální složení matice LED i s displayem mobilní aplikace. Spektrální měření jsou prováděna spektrometrem KONICA MINOLTA CS-2000 [41].

Zvětšované snímky byly pořízeny kinofilmovým fotoaparátem Nikon F80 na negativní film Fomapan 100 Classic [42], který byl profesionálně vyvolán vývojkou Kodak HC v rámci služby Centra Fotoškoda [43]. Obdržené negativní snímky jsou zvětšovány na pozitivní papír Fomaspeed Variant 311 12,7x17,8 CM [13] a vyvolávány vývojkou Fomatol LQN. K přípravě přerušovací lázně je použit koncentrát Fomacitro, k přípravě ustalovače potom koncentrát Fomafix.

5.1 Spektrální složení LED světelného zdroje

Měření světelného zdroje probíhalo ve vzdálenosti 3,10 m od roviny vstupní apertury objektivu spektrometru v oblasti kruhového průřezu o průměru 54 mm, což s průměrem otvoru pro difuzor 72 mm tvoří přibližně 44% plochy světelného zdroje. Měřeno bylo spektrum barevných složek zvlášť vždy se stejnou intenzitou v celé matici, a to v závislosti na intenzitním poměru s krokem 10. V grafu na obrázku 5.1 jsou vedle sebe spektra všech tří barevných složek s odpovídajícím grafickým označením zvlášť pro 10 různých intenzit. Spektra jsou vynesena jako závislost spektrální záře L_e na vlnové délce λ . Bezrozměrný

intenzitní poměr je pro daný průběh uveden vždy v blízkosti maxima. Pro porovnání je graf proložen naměřeným spektrem původního zdroje s klasickou žárovkou. LED světelný zdroj byl měřen v kombinaci s původním difuzorem, jehož útlum se od toho použitého pro zvětšení testovacích fotografií může lišit, a naměřené absolutní hodnoty energie nejsou pro projekt validní. Uvedený graf tedy slouží jen pro srovnání spekter.

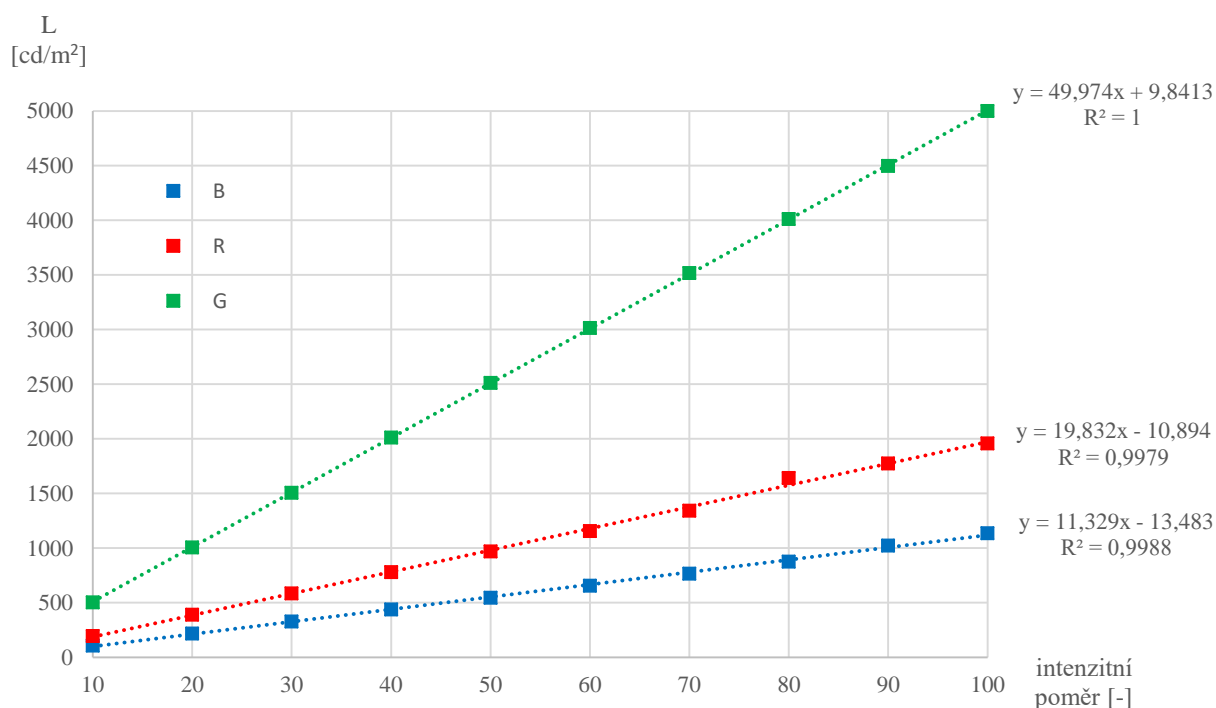


Obrázek 5.1: Výkonová spektra jednotlivých intenzitních poměrů RGB barev světelného zdroje

Z uvedeného grafu je patrné, že modré LED mají na stejném intenzitním poměru přibližně 2,5-krát vyšší výkonové maximum než zelené. Z podob spektrálních svazků obou barev lze potom usoudit, že i celkový výkon modrých LED je přibližně 2-krát vyšší než výkon zelených. Pro správné řízení gradace je toto nutné zohlednit při kalibraci světelného zdroje. Maxima průběhů se nacházejí na vlnové délce 463 nm pro modrou, 522 nm pro zelenou a 633 nm pro červenou. Hodnoty neodpovídají zcela přesně katalogovým hodnotám 4.1, ale naměřené odchylky jsou pro účel projektu naopak vhodné. Maximum červeného světla se narozdíl od specifikace nachází hlouběji v bezpečné oblasti a maximum modrého světla je blíže oblasti s vyšší citlivostí fotopapíru, viz sekce 4.2.1. Parametr *FWHM*, anglicky "Full width at half maximum", neboli šířka spektrálního svazku měřená ve výšce poloviny maxima, je pro modrou 20 nm, pro zelenou 31 nm a pro červenou 17 nm.

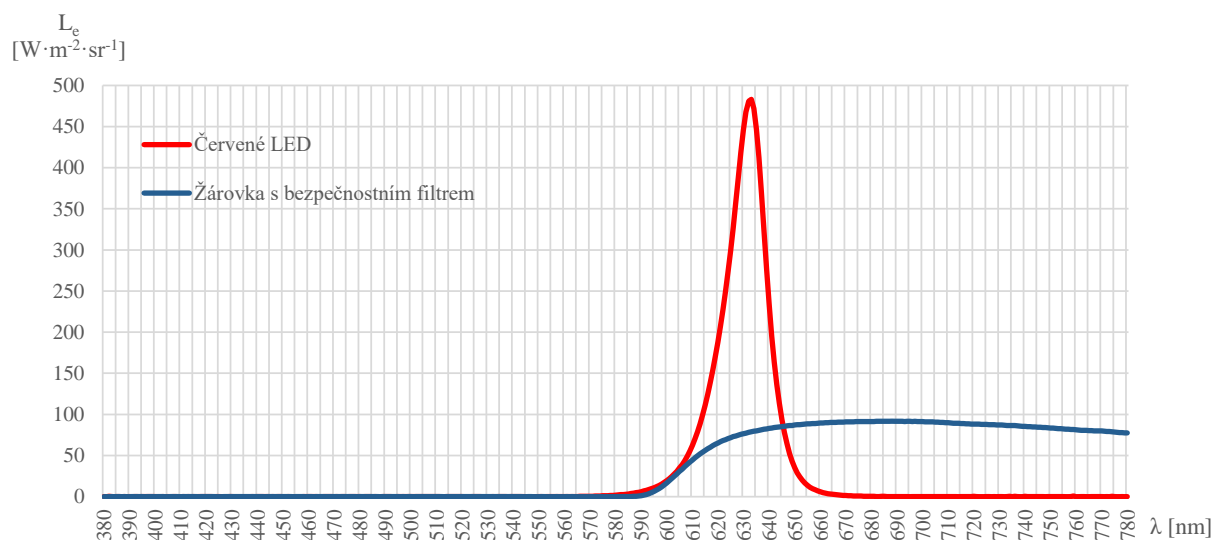
Linearita změny intenzity jednotlivých barev byla ověřena měřením jasu světelného zdroje na stejných stupních intenzity jako v případě měření spektra, tedy 10 až 100 s krokem 10. Naměřené hodnoty jasu L jsou vyneseny ve společném grafu na obrázku 5.2 a zvlášť

pro jednotlivé barvy proloženy přímkou s uvedenou rovnicí a koeficientem determinace R^2 , který vyjadřuje míru podobnosti linearizovaného modelu a průběhu měřené veličiny [44]. Pro hodnoty jasu zeleného světla je koeficient R^2 roven jedné, a tudíž lze průběh považovat za prakticky lineární. Hodnoty pro modrou a červenou se jedné blíží, průběhy nejsou zcela lineární, ale pro potřeby projektu jsou mírné odchylky zanedbatelné a nevýznamné.



Obrázek 5.2: Závislost jasu jednotlivých RGB složek na intenzitním poměru s proložením přímkou

Pro ověření bezpečnosti červeného světla bylo změřeno spektrum původního světelného zdroje překrytého bezpečnostním červeným filtrem. Spektra filtru a červeného světla LED zdroje jsou srovnány ve společném grafu na obrázku 5.3. Průběh LED spektra je nenulový přibližně od vlnové délky 570 nm, tudíž pod hranicí nesenzibility, která je asi 590 nm, viz graf 4.1. Hodnoty záře pod touto hranicí jsou však velmi nízké a jelikož se jedná o oblast nízké senzibility fotopapíru, nemusí na něj mít znatelný vliv. Po jejich zanedbání lze konstatovat, že obě zkoumaná spektra začínají zleva přibližně ve stejném bodě, a to 595 nm.

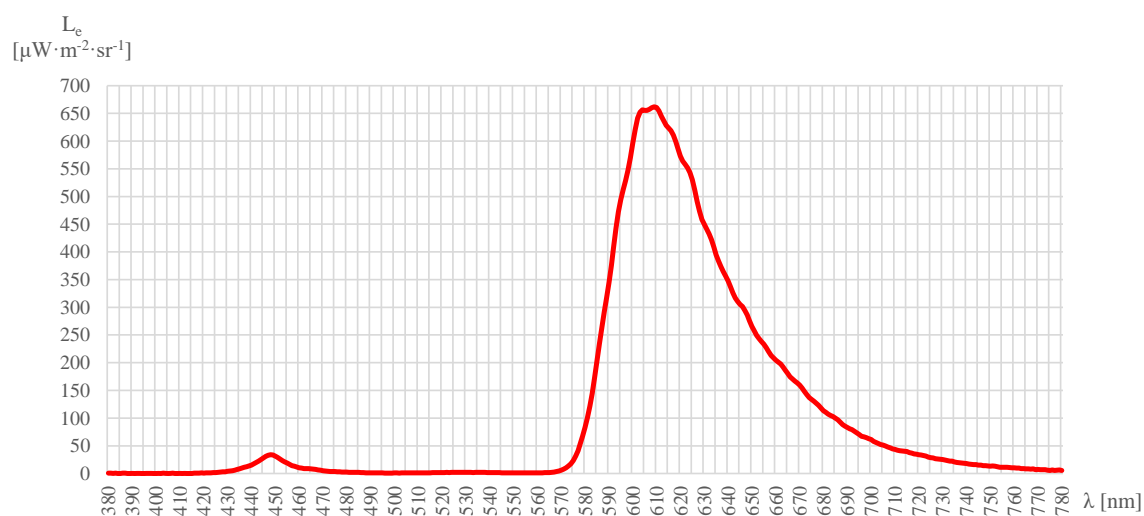


Obrázek 5.3: Závislost jasu jednotlivých RGB složek na intenzitním poměru s proložení přímku

5.2 Spektrální složení displye mobilní aplikace

Mobilní aplikace uživatelského rozhraní byla navržena ze softwarového hlediska v čistě černo-červené barevné škále, tedy v hodnotách RGB prostoru #000000 až #FF0000. Měření reálného spektrálního složení vyzařovaného světla bylo provedeno ve stejném uspořádání jako měření světelného zdroje. Mobilní telefon byl tedy umístěn do vzdálenosti 3,10 m od roviny vstupní apertury objektivu spektrometru a měřen byl kruhový výřez displye o průměru 7,20 mm. Naměřené hodnoty jsou vyneseny v grafu na obrázku 5.4.

Výsledek měření ukazuje přítomnost parazitní modré složky a mírný přesah červeného pásma do citlivé oblasti fotopapíru. Aplikace byla vyvinuta a testována na mobilním zařízení Lenovo Moto G5S s IPS LCD displayem [45], který je pravděpodobně zdrojem parazitních složek. Zdrojem světla LCD displye je bílé podsvícení, které je v rámci jednotlivých pixelů barevně filtrováno [46]. Filtrace nemusí být dokonalá a nežádoucí složka podsvícení může pixelem procházet. Je obecně známo, že LCD displye mají problém s reprodukcí černé barvy, která v důsledku popsání efektu v některých případech i viditelně vyzařuje modré světlo.



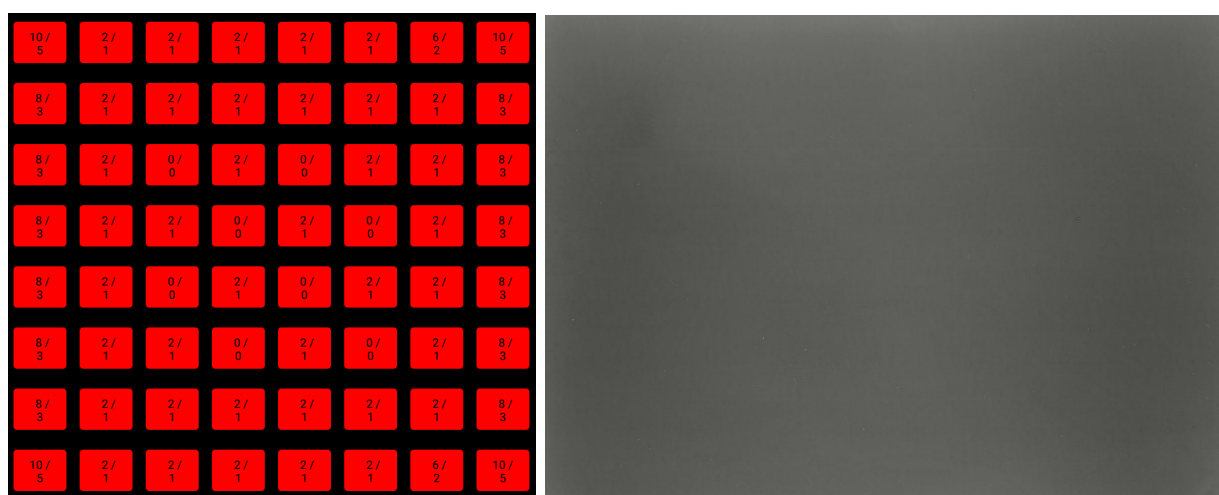
Obrázek 5.4: Výkonové spektrum záření displeje mobilní aplikace

5.3 Zvětšení a vyvolání snímků navrženou soustavou

Pořízené snímky byly zvětšovány a vyvolávány v improvizované domácí temné komoře. Jednotlivé pozitivní snímky byly zvětšovány podle postupu manuálu uvedeného v Příloze A a následně vyvolány postupem klasického pozitivního procesu, viz sekce 2.4.4, s výjimkou časů pobytu exponovaného pozitivního materiálu v jednotlivých chemikáliích. Ty byly určeny na základě teploty jednotlivých roztoků a na nich závislých doporučených hodnot na etiketách jednotlivých koncentrátů. Všechny roztoky měly teplotu 24 °C a doby pobytu byly tedy určeny jako 40 až 50 s pro vývojku, 10 až 20 s pro přerušovací lázeň a přibližně 2 min a 18 s pro ustalovač.

Před finální produkcí každé fotografie byla pro určení vhodného času expozice provedena expoziční zkouška. Ta byla kvůli absenci zařízení pro proužkovou expozici provedena s pomocí 2 papírových desek, které pro každou expozici určily žádaný výřez zakrytím části fotopapíru. Po každé expozici byl fotopapír pod deskami posunut tak, aby byla pro každý expoziční čas zvětšována stejná část negativu, zpravidla ta s největším počtem odstínů včetně nejsvětlejšího a nejtmašího. Pro každou fotografii byly provedeny zkoušky dvě a po každé z nich byl exponovaný materiál plně vyvolán. Veškeré expoziční časy byly voleny z hodnot osvitových čísel, viz sekce 2.2.5. První zkouška tak byla provedena expozicí 5 až 6 proužků s rozsahem 6 clon a po jejím vyvolání byly vybrány dvě nejpříjemnější sousední expozice. Druhá zkouška byla poté provedena v rozsahu vybraných 6 clon s krokem 1, po níž byl vybrán vhodný čas pro expozici finálního snímku.

Před samotným zvětšováním snímků bylo nutno vhodně nastavit dynamické rozsahy intenzit jednotlivých LED a to opakovanou kalibrací, viz sekce 4.5.3, s následnou expozicí a vyvoláním fotopapíru bez vloženého negativu. Cílem bylo nastavit intenzity jednotlivých LED tak, aby bylo zajištěno rovnoměrné nasvícení fotopapíru a po vyvolání tedy stejný odstín šedé v celé jeho ploše. Toho bohužel ani po několikanásobné kalibraci nebylo dosaženo. Intenzity byly nastavovány s ohledem na výkonový rozdíl mezi modrou a zelenou, viz graf 5.1, tak, aby byl pro každou jejich kombinaci zachováno správné chování nastavené gradace. Výkonový rozdíl tak vedl k omezení rozsahu intenzit na pouhých 5 kombinací, které nezajišťovaly dostatečnou jemnost. Druhým problémem byl nedostatečný dynamický rozsah intenzit, který nestačil na vyrovnání rohů fotografie s jejím vždy tmavším středem. Šachovnicové vynulování, kterým měl být aproximován intenzitní mezistupeň pro tuto oblast, vedl k opačnému efektu, tedy světlejšímu středu, ale s menším rozdílem odstínů. Toto nastavení bylo pro další zvětšování ponecháno jako požadovanému výsledku nejbližší možná konfigurace.



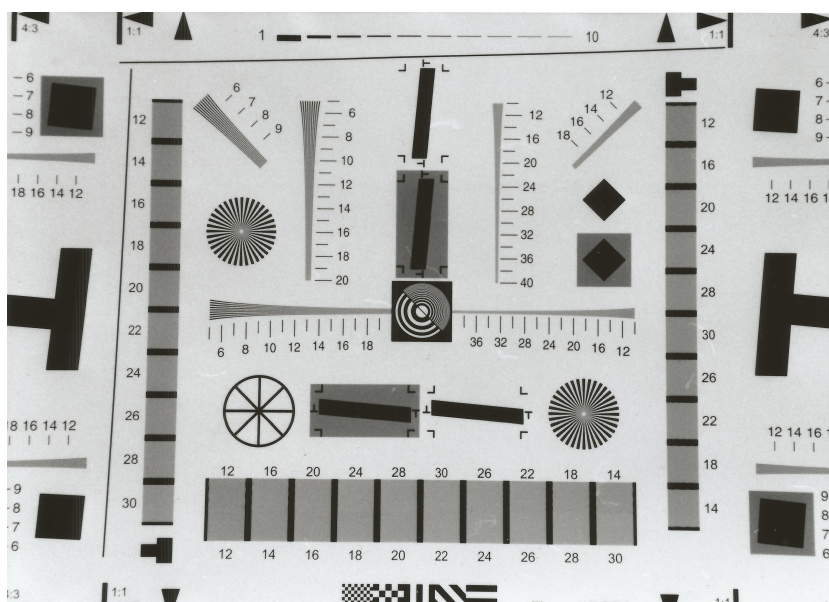
(a) použitá konfigurace

(b) výsledný snímek

Obrázek 5.5: Expozice prázdného snímku bez vloženého negativu po finální kalibraci s použitou konfigurací

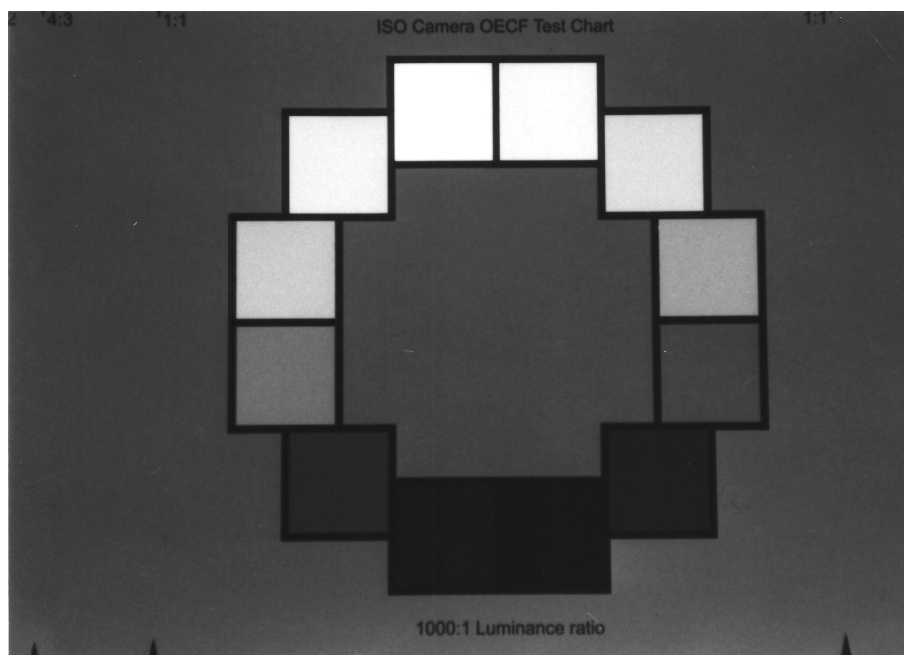
Na obrázku 5.5a je k nahlédnutí popsané nastavení, s nímž byl bez vloženého negativu vyvolán šedý snímek na obrázku 5.5b. Odstín šedi není v celé ploše stejný, ztmavení podél levého a pravého okraje snímku je způsobeno nedokonalou kalibrací a trojúhelníkové ztmavení v levé části obrazu je pravděpodobně důsledkem nedokonalého vložení fotopapíru do vývojky. I když je kalibrace ve výsledku neuspokojivá, z porovnání obrázků 5.5a a 5.5b

je patrné, že ji lze využít alespoň pro částečné maskování a nadržování. Oděrky a rýhy v jednotlivých snímcích jsou pravděpodobně způsobeny vadami optické soustavy zvětšovacího přístroje, včetně nových rozptylných desek, a kleštěmi pro manipulaci s fotopapírem, na něž je, jak se při vyvolávání ukázalo, pozitivní materiál velice citlivý. V rámci ověření kvality navržené soustavy byly následně zvětšeny a vyvolány dva testovací obrazce. Snímek pro hodnocení rozlišovací schopnosti je na obrázku 5.6 a obrazec převodní charakteristiky na obrázku 5.7. První byl zvětšen se stupněm gradace 3 a druhý se stupněm 1. Detailní analýza těchto obrazců je nad rámec této práce, nicméně v případě obrazu 5.6 lze už prostým pohledem určit vizuální mez rozlišení. Počet čar na mm obrazu, pro který se ztrácí kresba, je tedy přibližně 20.



Obrázek 5.6: Expozice a vyvolání testovacího obrazce pro ověření rozlišovací schopnosti

Za účelem ověření obecné funkčnosti a použitelnosti navrženého zařízení byla dále zvětšena a vyvolána trojice netechnických snímků na obrázcích 5.8, 5.9 a 5.10. Všechny tři fotografie byly zvětšeny se stupněm gradace 3. Použité časy expozice se pohybovaly okolo 90 až 100 s a pro jejich dosažení musela být expozice provedena několikrát po sobě. Vysoké expoziční časy jsou pravděpodobně důsledkem použití difuzoru s vysokým útlumem a omezení intenzitního poměru pro všechny LED na maximální hodnotu 100. Jako ukázka a ověření možnosti změny gradace byl výřez jednoho ze snímků zvětšen na jeden fotopapír postupně se třemi různými stupni gradace. Výsledek je na obrázku 5.11 zleva postupně se stupněm gradace 0, 5 a 10.



Obrázek 5.7: Expozice a vyvolání testovacího obrazce pro ověření převodní charakteristiky



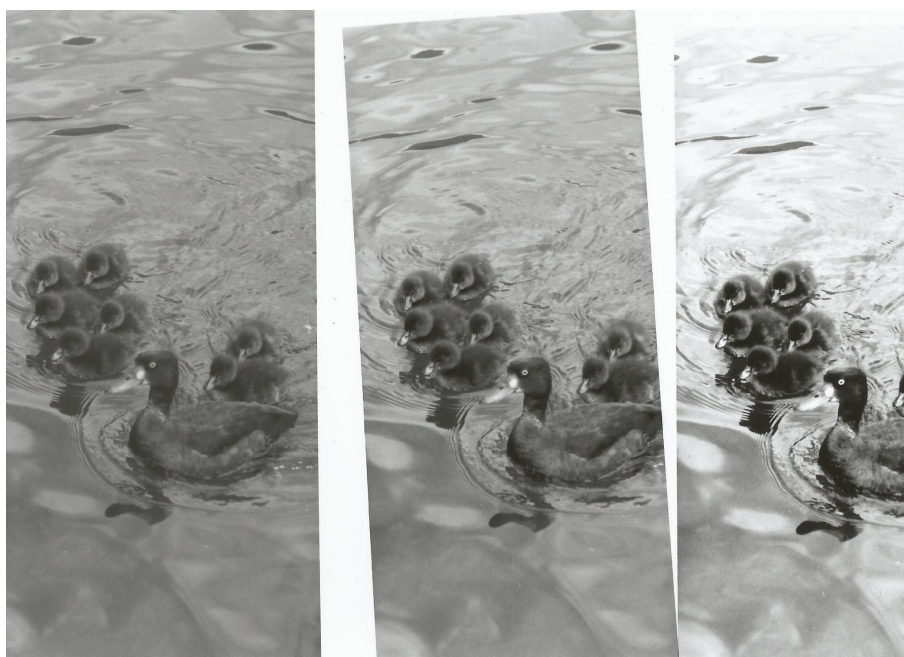
Obrázek 5.8: Exponovaná a vyvolaná fotografie číslo 1



Obrázek 5.9: Exponovaná a vyvolaná fotografie číslo 2



Obrázek 5.10: Exponovaná a vyvolaná fotografie číslo 3



Obrázek 5.11: Ověření možnosti elektronické změny gradace

Každý použitý fotopapír byl v průběhu práce vystaven několikaminutovému osvětlení červeným světlem maticového LED zdroje a na žádném z nich nebyla patrná degradace v důsledku tohoto světla. Mobilní telefon s otevřenou aplikací uživatelského prostředí, u kterého byl v důsledku nevhodného spektra očekáván možný škodlivý vliv na fotopapír, byl testován přiložením displaye s nejnižším nastaveným jasem přímo na fotopapír po dobu 20 s. Po vyvolání došlo v oblasti kontaktu k úplnému zčernání. Následně byl fotopapír exponován displayem přímo z pracovní vzdálenosti 50 cm a více s postupnou změnou polohy a směru svícení po dobu 1 min a 30 s. V tomto případě nedošlo po vyvolání k žádnému viditelnému zčernání a mobilní telefon bez přímého svícení na fotopapír použit pro expozici všech výše uvedených snímků.

Kapitola 6

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a implementovat modernizaci klasického zvětšovacího přístroje pro černobílou fotografii, jejímž předmětem byla náhrada původní neefektivní žárovky RGB LED světelným zdrojem a realizace odpovídající řídicí elektroniky. Ta měla volbou poměru modré a zelené zajistit možnost elektronického nastavení gradace a ve spojení s maticovým uspořádáním individuálně řízených LED také korekci vad optické soustavy zvětšovacího přístroje. Za tímto účelem práce nejprve popsala teorii a postupy konvenční analogové fotografie a provedla výzkum v oblasti již implementovaných modernizací stejného druhu.

Vlastní modernizace byla následně realizována jako soustava dvou hlavních struktur, řídicí jednotky s LED maticí a odděleného uživatelského prostředí se vzájemnou bezdrátovou bluetooth komunikací. Uživatelské prostředí bylo realizováno jako mobilní aplikace systému Android a navrženo pro kompletní správu expozice, včetně její přípravy, kalibrace světelného zdroje a nastavení potřebných parametrů, jako je expoziční čas a gradace. Řídicí jednotka byla provedena jako soustava mikrokontroléru Arduino s bluetooth modulem a přílehlými obvody. Její programová výstavba byla navržena tak, aby přijímala požadavky uživatelského rozhraní a aplikovala je na světelný zdroj. Jednotka se tak stará o kompletní správu LED matice včetně přímého řízení a časování expozice. Pro zasazení jednotky a světelného zdroje do těla zvětšovacího přístroje byl na 3D tiskárně vyhotoven box, který nahrazuje původní světelnou skříň.

Zařízení bylo testováno provedením expozice a následného vyvolání několika zkušebních snímků, čímž byla prokázána možnost jeho praktického použití. Soustava umožňuje manuální ostření s bílým světlem, spuštění integrovaného bezpečnostního světla pro pomoc se situováním fotopapíru, nastavení expozičního času a úspěšnou volbu gradace v rozsahu 10

úrovni. Z tohoto hlediska dosáhla práce hlavního předsevzatého cíle, modernizovat zvětšovací přístroj s použitím LED světelného zdroje. Nedostatkem jsou však vysoké expoziční časy a nepohodlná kalibrace s nedostatečnou jemností, díky níž nebylo zcela dosaženo druhého cíle, a to umožnit korekci vad optické soustavy.

Na oba nedostatky má vliv omezení maximální možné intenzity LED, které bylo učiněno za účelem prodloužení jejich života. Ke zvýšení expozičních časů pravděpodobně přispívá i použitý difuzor, který byl konstruován jako několik rozptylných desek skládaných těsně na sebe. V průběhu vývoje a testování došlo dále v rámci kalibrace celkem dvakrát k nezbytnému omezení počtu nastavitelných hodnot intenzity. Hrubé kalibrování tak ve výsledku sestávalo z rekurzivní expozice prázdného snímku a následného odhadu nových intenzit na základě podoby vyvolaného obrazu. Tento postup byl velice zdlouhavý, nepřesný a neefektivní. Možnost individuálního řízení jednotlivých LED lze použít alespoň k přibližnému elektronickému maskování a nadržování. Měření spektrálního složení displeje mobilní aplikace dále ukázalo přítomnost modré složky, která může v temné komoře nežádoucím způsobem ovlivnit odhalený fotografický materiál, a to přesto, že byla aplikace vytvořena v čistě červeno-černé barevné škále. Toto chování je pravděpodobně způsobeno použitým LED displayem mobilního telefonu, konkrétně jeho podsvícením, které při průchodu pixely není dokonale filtrováno. Při běžném zvětšování snímků nebyl žádný negativní vliv aplikace pozorován, nicméně pro další práci je doporučeno použití zařízení s displayem bez podsvícení, jako je například OLED.

Jako návrh pro další zkoumání a opravu zjištěných nedostatků lze doporučit především navýšení maximální nastavitelné intenzity LED a snížení útlumu difuzoru za současného zachování jeho rozptylu. Toho lze dosáhnout například snížením počtu rozptylných desek a vytvořením vzduchové mezery mezi nimi, popřípadě i s jejich výměnnou. Tyto úpravy, ať už v kombinaci či jednotlivě, by měly vést na výrazně kratší časy expozice a umožnit jemnější krok v kalibraci. I když už přesnější, bude manuální kalibrace stále záviset na uživatelském odhadu a vyžadovat provedení řady testovacích expozic s následným vyvoláním. Tento problém by mohl být řešen její automatizací, která by spočívala v měření světla dopadajícího na plochu pro umístění fotopapíru. Podle osvětlení jednotlivých oblastí by rekurzivně nastavovala intenzity jednotlivých LED, dokud by nebyla plocha s jistou tolerancí rovnoměrně nasvícena. Tuto automatizaci lze implementovat rozšířením zvětšovacího přístroje o síť fotosenzorů či použitím fotoaparátu mobilního telefonu s následným výpočtem přímo v aplikaci. Vhodnou nadstavbou celého projektu by poté mohla být realizace expo-

ziční automatiky, která by na základě světelné propustnosti negativu vypočítala vhodný čas expozice pro odpovídající vykreslení světel a stínů, popřípadě jej i přepočítala v případě změny clony, zvětšení či gradace bez nutnosti opakovaného měření.

Příloha A

Uživatelský manuál zařízení

Tento manuál či návod k použití seznámí uživatele se základní obsluhou navrženého zařízení a krok po kroku ho provede kompletní přípravou a provedení expozice.

Příprava zařízení a jeho spuštění

Box nové světelné skříně se do zvětšovacího přístroje Meopta Axomat 5 instaluje přesně na místo původního. Ten je tedy nutné sejmout a nový box upevnit pomocí stejných originálních šroubů. Nová světelná skříň používá původní difuzní sklo, které je nutné vyjmout z původní zvětšovací hlavy. Uživatel dále vyšroubuje horní šroub nové skříně a opatrně vysune víko. Difuzní sklo poté zasune do zásuvky ve spodním patře, uzavře skříň a víko zašroubuje.

Zařízení se zapíná kolébkovým spínačem, který se nachází na levé straně boxu vedle napájecího konektoru. Před zapojením napájecího adaptéru je dobré zkontrolovat, zda je spínač v poloze "OFF". Po zapojení adaptéru, může uživatel přepnout spínač do polohy "ON" a tím zařízení zapnout.

Připojení mobilní aplikace

Po úspěšné instalaci a spuštění mobilní aplikace je zahájeno hledání dostupných zařízení, které může trvat i několik vteřin. Po obdržení zprávy "Device Found" v dolní části obrazovky, klikne uživatel na tlačítko "Connect". Na obrazovku je vypsán seznam dostupných zařízení, který by měl obsahovat řídicí jednotku světelné skříně pod položkou "44:EA:D8:F3:AD:4C MLT-BT05". Pokud tomu tak není, nebylo zařízení dosud nalezeno

a uživatel se musí vrátit tlačítkem "Back" a po krátké prodlevě zkusit vypsát seznam znovu. V některých případech je toto nutné opakovat několikrát, popřípadě restartovat řídicí jednotku světelné skříně. Po úspěšném nalezení zařízení klikne uživatel na položku "44:EA:D8:F3:AD:4C MLT-BT05" v seznamu a po úspěšném připojení je aplikace připravena k použití. Jestliže připojení selže, je nutné opakovat stejný výše popsany proces jako při nenalezení zařízení.

Upozornění: Pokud se v temné komoře nachází jakýkoli odhalený citlivý fotomateriál, nesmí uživatel opouštět okno mobilní aplikace, aby nevystavil materiálu záření nežádoucích vlnových délek. Záření jiných barev než červené může fotografický materiál degradovat. Uživatel je tedy doporučeno spustit v telefonu bluetooth ještě před vstupem do temné komory, či odhalení fotomateriálu a dále neodcházet z aplikace a nespouštět horní notifikační ani dolní navigační lištu.

Příprava na expozici a její provedení

V rámci přípravy je nutné na zvětšovací přístroji nastavit požadované zvětšení a obraz zaostřit. K tomu je na právě otevřené obrazovce k dispozici přepínač "Focus", který po kliknutí rozsvítí světelný zdroj bílým světlem. Jas bílého světla lze nastavit posuvníkem "Brightness" a volbu potvrdit tlačítkem "Set". Po dokončení manuálního ostření je bílé světlo vypnuto opětovným stiskem přepínače "Focus". Po zbytek přípravy je k dispozici bezpečnostní světlo, které po stisku přepínače "Safe Light" rozsvítí světelný zdroj červeným světlem, jehož jas lze nastavit stejným pojezdem "Brightness". Bezpečnostní světlo lze využít především ke správnému umístění fotonapíru, jelikož je na základní desku promítán pouze bezpečný červený obraz.

Dále je nutné nastavit čas expozice a požadovanou gradaci. K nastavení expozičního času slouží dva posuvníky označené "Exposure Time [s]". Jedním z nich lze volit celé sekundy, druhým potom setiny sekundy. Po nastavení požadované hodnoty, potvrdí uživatel výběr stisknutím tlačítka "Set" a jakmile se zvolený čas objeví v příslušných hranatých závorkách nad posuvníky, znamená to, že zvolený čas byl úspěšně uložen v řídicí jednotce. Gradaci potom nastaví obdobným způsobem pomocí posuvníku "Contrast". Jakmile bude zvolená gradace mezi příslušnými hranatými závorkami nad posuvníky, je gradace uložena v řídicí jednotce a celé zařízení je připraveno k expozici fotonapíru. Ta je zahájena stisknutím tlačítka "Expose" a uživateli je na další obrazovce k dispozici čas zbývající do ukončení

expozice. Pokud by si uživatel přál ukončit expozici dříve, klikne na tlačítko "Stop". Po ukončení expozice je uživatel vrácen na předchozí obrazovku.

Vyvolání exponovaného materiálu je dále stejné jako proces popsany v sekci 2.4.4. Časy pobytu materiálu v chemikáliích však uživatel volí na základě informací poskytnutých jejich výrobcem či dodavatelem, které jsou většinou k dispozici na etiketě dané chemikálie. Potřebné časy se potom měří časovačem integrovaným v aplikaci.

Kalibrace světelného zdroje

Pokud je v promítnutém obraze zpozorován důsledek vady optické soustavy, jako je například vinětace, nebo jiná nedokonalost, jíž je obecně jiná než očekávaná denzita v oblasti obrazu, lze tuto vyřešit úspěšnou kalibrací světelného zdroje. Ke kalibraci přejde uživatel kliknutím na tlačítko "Calibrate" a z dostupné matice vybere oblasti obrazu, v nichž chce změnit úroveň osvětlení. Oblast je do výběru přidána kliknutím, po kterém změní barvu ze světle na tmavě červenou. Odebrána je potom stejným způsobem. Dlouhým stiskem jsou vybrány všechny oblasti, opětovným dlouhým stiskem zase všechny odebrány. Po stanovení výběru může uživatel pomocí posuvníků v dolní části obrazovky změnit intenzity modré ("Blue") a zelené ("Green") v osvětlení vybraných oblastí. Po potvrzení výběru intenzity stisknutím tlačítka "Set" je hodnota dané barvy uložena do vybraných oblastí. V oblasti je její barevné složení uvedeno ve tvaru "zelená / modrá". Na předchozí obrazovku se uživatel vrátí stisknutím tlačítka "Back".

Po změně osvětlení jednotlivých oblastí je nutno novou konfiguraci vyzkoušet a provést cvičnou expozici. Uživatel Záleží na uživateli, zda ji provede na prázdko či přímo na fotografický papír. Pokud vada přetrvává, nebo se objevila jiná nedokonalost, je nutné výše popsany proces opakovat, dokud není uživatel s obrazem spokojen. Kalibraci lze vedle korekce vad využít i například k experimentálním či uměleckým účelům. Různými barevnými poměry lze měnit gradaci v jednotlivých oblastech obrazu. Některé LED lze potom vynulováním barevných intenzit i úplně vypnout. Po úspěšné kalibraci lze nové nastavení uložit stiskem tlačítka "Save", neuložené nastavení je po vypnutí aplikace zahazeno.

Upozornění: Po každé kalibraci musí uživatel znovu nastavit gradaci a potvrdit tlačítkem "Set". Teprve tak je nové nastavení odesláno do zařízení.

Příloha B

Datové přílohy

Součástí datových příloh jsou STL soubory použité pro 3D tisk, vyvolané fotografie v plné velikosti a zdrojové kódy ovladače i mobilní aplikace včetně jejího instalačního balíčku. V tabulce B.1 je uveden jejich kompletní seznam se stručným popisem.

Název souboru	Popis
LED_Light_Source_Driver_Final.ino	Zdrojový kód ovladače světelného zdroje
DarkroomExposureMeter_Final.aia	Projekt aplikace uživatelského rozhraní; pro jeho otevření je nutno soubor importovat do prostředí MIT App Inventor 2 [36]
DarkroomExposureMeter_Final.apk	Instalační balíček uživatelského rozhraní
enlargerLightBox_bodyA.stl	STL soubor se stěnami světelné skříně
enlargerLightBox_bodyB.stl	STL soubor s přepážkou spojující stěny
enlargerLightBox_diffusionFloor.stl	STL soubor s patrem difuzoru
enlargerLightBox_ledFloor.stl	STL soubor s patrem LED desky
enlargerLightBox_hwFloor.stl	STL soubor s patrem řídicí jednotky
enlargerLightBox_door.stl	STL soubor s víkem světelné skříně
finální_kalibrace.pdf	prázdný obraz finální kalibrace
rozlišovací_schopnost.pdf	testovací obrazec s rozlišovací schopností
převodní_charakteristika.pdf	testovací obrazec s převodní charakteristikou
foto_1.pdf	netechnická fotografie číslo 1
foto_2.pdf	netechnická fotografie číslo 2
foto_3.pdf	netechnická fotografie číslo 3
ověření_gradace.pdf	obraz pro ověření volby gradace

Tabulka B.1: Seznam datových příloh s jejich stručným popisem

Použitá literatura

- [1] ZAORAL, Zdeněk. Fotografujeme. Praha: Pěnkava Intermedia, 1993. ISBN 80-85522-15-2.
- [2] MCKENZIE, Joy. Exploring Basic Black and White Photography. Boston: Cengage Learning, 2003. ISBN 978-1401815561.
- [3] VOHLÍDAL, Jiří, Karel ŠTULÍK a Alois JULÁK. Chemické a analytické tabulky. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 1999. ISBN 80-7169-855-5.
- [5] Clona [online]. MEGAPIXEL s.r.o., © 2008. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/clona>.
- [4] ALLEN, Elizabeth a Sophie TRIANTAPHILLIDOU. The Manual of Photography. 10. vyd. Routledge: CRC Press, 2012. ISBN 9781136091100.
- [6] LAMBRECHT, Ralph a Chris WOODHOUSE. Way Beyond Monochrome 2e: Advanced Techniques for Traditional Black & White Photography including digital negatives and hybrid printing. 2. vyd. New York: Taylor & Francis, 2011. ISBN 9781136087509.
- [7] The Eclectic Photography Resource [online]. James Ollinger, 2007. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <http://www.jollinger.com/photo/index.html>.
- [8] Enlarger head using LEDs [online]. Wagner Lungov, 2017. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://apenasimagens.com/en/enlarger-head-using-leds/>.
- [9] CEVIK, Can. How I Converted a Durst Laborator 1200 Enlarger to Use LED Lights. In: PetaPixel [online]. PetaPixel, 2019. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://petapixel.com/2019/03/16/how-i-converted-a-durst-laborator-1200-enlarger-to-use-led-lights/>.
- [10] Variable Contrast LED Head for Durst 138S – Condensers [online]. Larry, 2013. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <http://www.trippingthroughthedark.com/category/equipment/led-head/>.
- [11] LED cold light source [online]. Heiland electronic GmbH, © 2015. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: https://heilandelectronic.de/led_kaltlicht/lang:en.

- [12] AXOMAT 5A [online]. Meopta, 2011. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <http://www.meoptahistory.com/index.php?id=137>.
- [13] FOMASPEED VARIANT III [online katalogový list]. FOMA, © 2018. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.foma.cz/cs/fomaspeed-variant-III>.
- [14] 8X8 64 LED Matrix WS2812 5050 RGB with Integrated Drivers for Arduino [online]. Amazon, 2019. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/Matrix-WS2812-Integrated-Drivers-Arduino/dp/B07SPJTR3J>.
- [15] WS2812, Intelligent control LED integrated light source [online katalogový list]. Worldsemi, © 2013. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812.pdf>.
- [16] How to Control WS2812 RGB LED [online]. ElectroPeak Inc., © 2019. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://electropeak.com/learn/control-ws2812-rgb-led-neopixel-w-arduino-tutorial/>.
- [17] WS 2801 VS WS 2811 VS WS 2812 VS WS 2812B. In: MAKERLESSONSLEARNED [online]. WordPress, 2015. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://makerlessonslearned.wordpress.com/2015/08/24/ws-2801-vs-ws-2811-vs-ws-2812-vs-ws-2812b/>.
- [18] ATmega328 [online katalogový list]. Atmel, © 2009. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/ATMega328.pdf>.
- [19] WS2812 Breakout Hookup Guide [online]. Sparkfun, 2013. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ws2812-breakout-hookup-guide/all>.
- [20] Light_WS2812 library V2.0 – Part I: Understanding the WS2812. In: Tim's Blog [online]. WordPress, 2014. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: https://cpldcpu.wordpress.com/2014/01/14/light_ws2812-library-v2-0-part-i-understanding-the-ws2812/.
- [21] Memory [online]. Arduino, 2015. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/tutorial/memory>.
- [22] ARDUINO PRO MINI [online]. Arduino, 2008. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-pro-mini>.
- [23] constants [online]. Arduino, 2019. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/variables/constants/constants/>.
- [24] Arduini Pro Mini. In: AskSin++ [online]. AskSin++, 2020. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: https://asksinpp.de/Grundlagen/01_hardware.html#microcontroller.

- [25] HM-10 Bluetooth Module [online]. Components101, 2018. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://components101.com/wireless/hm-10-bluetooth-module>.
- [26] Arduino Bluetooth 4.0 BLE modul HM-10 [online]. Arduino-shop, 2017. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/arduino-bluetooth-4.0-ble-modul-hm-10.html>.
- [27] HM-10 Bluetooth 4 BLE Modules [online]. Martyn Currey, 2017. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <http://www.martyncurrey.com/hm-10-bluetooth-4ble-modules/>.
- [28] GUPTA, Naresh Kumar. Inside Bluetooth Low Energy, Second Edition. 2. vyd. Norwood: Artech House, 2016. ISBN 9781630813703.
- [29] Mean Well GS18E05 5V 3A [online katalogový list]. MeanWell, © 2010. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.czech-meanwell.cz/fotky10575/fotov/GS18E-spec.pdf>.
- [30] The Magic of NeoPixels [online]. Adafruit, 2013. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide?view=all>.
- [31] FreeCAD [online]. The FreeCAD Team, 2015. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.freecadweb.org/>.
- [32] ORIGINAL PRUSA MINI [online]. Prusa Research a.s., © 2019. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/original-prusa-mini/>.
- [33] Prusament PETG [online]. Prusa Research a.s., © 2018. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://prusament.com/cs/materials/prusament-petg/>.
- [34] LOCTITE POWER FLEX GEL [online]. Loctite, 2015. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.loctite-superattak.cz/cz/produkty/power-flex.html>.
- [35] UNIVERZÁLNÍ BARVA VE SPREJI [online]. Primalex, 2015. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: http://www.primalex.cz/products/621-primalex_univerzalni_barva_ve_spreji/469#prettyPhoto.
- [36] MIT App Inventor [online]. MIT, 2012. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://appinventor.mit.edu/>.
- [37] SoftwareSerial Library [online]. Arduino, 2019. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/softwareSerial>.
- [38] FastLED Animation Library [online]. Daniel Garcia, 2014. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <http://fastled.io/>.
- [39] FastLED [online]. Daniel Garcia, 2016. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://github.com/FastLED/FastLED/wiki/Overview>.

- [40] Maximizing BLE Throughput on iOS and Android [online]. Punch Through, 2016. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://punchthrough.com/maximizing-ble-throughput-on-ios-and-android/>.
- [41] Spectroradiometer CS-2000 [online]. KONICA MINOLTA, 2020. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://sensing.konicaminolta.asia/product/spectroradiometer-cs-2000/>.
- [42] Fomapan 100 Classic [online]. FOMA, © 2018. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.foma.cz/produkty-fomapan-100-classic-detail-143>.
- [43] Vyvolání čb. negativů [online]. Foto Škoda, 2016. [vid. 31. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.fotoskoda.cz/vyvolani-cernobile-negativy/>.
- [44] MRKVIČKA, Tomáš a Vladimíra PETRÁŠKOVÁ. Úvod do statistiky. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2006. ISBN 80-7040-894-4.
- [45] Motorola Moto G5S [online]. GSMARENA, © 2017. [vid. 4. 8. 2020]. Dostupné z: https://www.gsmarena.com/motorola_moto_g5s-8698.php.
- [46] YANG, Deng-Ke a Shin-Tsou WU. Fundamentals of Liquid Crystal Devices. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014. ISBN 9781118752005.