

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

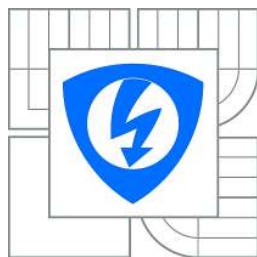
NÁVRH A REALIZACE INTERAKTIVNÍHO PANELU SE SVĚTELNÝMI  
ZDROJI

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN ŽÁK

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Martin Žák

**ID:** 143642

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

**Návrh a realizace interaktivního panelu se světelnými zdroji**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedte literární rešerši týkající se dané problematiky.
2. Navrhněte konstrukci panelu a popište vnitřní zapojení.
3. Panel realizujte a osadte vybranými světelnými zdroji.
4. Změřte předpokládané prezentované parametry jednotlivých světelných zdrojů a výsledky měření na panelu prezentujte.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Škoda, Ph.D.

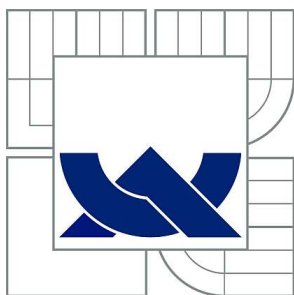
**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

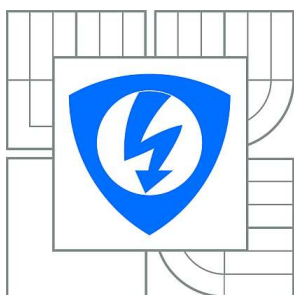
## UPOZORNĚNÍ:

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



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## NÁVRH A REALIZACE INTERAKTIVNÍHO PANELU SE SVĚTELNÝMI ZDROJI

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN INTERACTIVE LIGHT SOURCES PANEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN ŽÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN ŠKODA, Ph.D.

BRNO 2015

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací interaktivního panelu se světelnými zdroji a měřením parametrů různých zdrojů světla. Na základě stanovených požadavků předkládá návrh řešení (materiály pro výrobu panelu, popis funkce, rozmístění prvků, elektrické zapojení atd.), podle kterého byl později interaktivní panel i sestaven a zprovozněn. Dále jsou charakterizovány některé skupiny světelných zdrojů (obyčejné žárovky, halogenové žárovky, kompaktní zářivky, lineární zářivky a LED zdroje) a jsou předloženy výsledky měření parametrů těchto zdrojů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

světelné zdroje; osvětlování; světelná technika; světlo; žárovky; zářivky; LED; panel; fotometrie; měření

## **ABSTRACT**

This semestral thesis deals with design and construction of the interactive light sources board and measurement of various parameters of those light sources. Using the given requirements, a solution is worked out (construction materials, behaviour, design, wiring etc. are given). Based on this, the interactive board was also constructed and put into operation. The thesis is also focused on the given light sources themselves (incandescent light bulbs, halogen lamps, compact fluorescent lamps, fluorescent tubes and LED lamps) and their measurement results are presented.

## **KEYWORDS**

light sources; illumination; lighting; light; light bulbs; fluorescent lamps; LED; board; photometrics; measurement

ŽÁK, Martin *Návrh a realizace interaktivního panelu se světelnými zdroji*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2015. 80 s. Vedoucí práce byl Ing. Jan Škoda, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Návrh a realizace interaktivního panelu se světelnými zdroji“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Škodovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, nekonečnou trpělivost a podnětné návrhy k práci. Rovněž děkuji panu Krejčímu za pomoc při konstrukci zařízení.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	12
<b>1 Fotometrické veličiny</b>	<b>13</b>
1.1 Světelný tok	13
1.2 Jas	13
1.2.1 Svítivost	14
1.3 Příkon	14
1.4 Měrný výkon	14
1.5 Účinník	14
1.6 Index podání barev	15
1.7 Teplota chromatičnosti	15
1.8 Diagram chromatičnosti	15
1.8.1 Trichromatické souřadnice	15
<b>2 Charakteristika světelných zdrojů</b>	<b>17</b>
2.1 Obyčejné žárovky	17
2.1.1 Patice E27	19
2.2 Halogenové žárovky	19
2.3 Lineární zářivky	21
2.3.1 Luminofor	23
2.4 Kompaktní zářivky	23
2.5 LED zdroje	24
2.5.1 LED diody	25
<b>3 Návrh panelu</b>	<b>27</b>
3.1 Požadavky	27
3.1.1 Účel	27
3.1.2 Funkce	27
3.1.3 Rozměr	27
3.1.4 Materiály a provedení	27
3.1.5 Napájení	28
3.1.6 Uchycení	29
3.2 Návrh konstrukce panelu	29
3.2.1 Nosná konstrukce	29
3.2.1.1 Desky Vikupor®	29
3.2.2 Uchycení zdrojů	30
3.2.3 Návrh skříně	30

3.2.4	Elektrické zapojení . . . . .	31
3.2.4.1	Úprava schématu pro výrobu DPS . . . . .	33
3.2.4.2	Návrh rozložení DPS . . . . .	35
3.2.4.3	Vodiče . . . . .	35
3.2.5	Popisová karta . . . . .	36
3.2.6	Výsledná podoba panelu . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Měření parametrů světelných zdrojů</b>	<b>39</b>
4.1	Způsob měření . . . . .	39
4.2	Výsledky měření . . . . .	40
4.3	Vyhodnocení výsledků měření . . . . .	42
4.3.1	Světelné spektrum . . . . .	42
4.3.2	Světelný tok . . . . .	43
4.3.3	Měrný výkon . . . . .	45
4.3.4	Účinnost . . . . .	46
4.3.5	Index podání barev . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Postup práce</b>	<b>47</b>
5.1	Výroba DPS . . . . .	47
5.1.1	Příprava matrice a výroba předlohy . . . . .	47
5.1.2	Osvit desek . . . . .	47
5.1.3	Vývolávání . . . . .	48
5.1.4	Leptání . . . . .	48
5.1.5	Finální úpravy . . . . .	48
5.1.6	Vrtání . . . . .	48
5.1.7	Výroba prokovů a osazování desek . . . . .	48
5.1.8	Problémy při výrobě . . . . .	49
5.2	Příprava parapetních kanálů . . . . .	50
5.3	Příprava skříně . . . . .	50
5.4	Sestavení celého zařízení . . . . .	50
5.5	Výsledek . . . . .	51
5.6	Dodatečné úpravy . . . . .	51
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>54</b>
	<b>Literatura</b>	<b>55</b>
	<b>Seznam zkratk a symbolů</b>	<b>58</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>60</b>

A Schémata jednotlivých DPS	61
B Návrh rozložení jednotlivých desek	64
C Světelná spektra měřených světelných zdrojů	68
D Matrice jednotlivých DPS	76
E Využití časovače 555	79
F Obsah přiloženého CD	80

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Spektrum barevné teploty . . . . .	15
1.2	Diagram chromatičnosti CIE 1931 . . . . .	16
2.1	Rozdělení elektrických světelných zdrojů podle principu vzniku světla . . . . .	18
2.2	Konstrukce obyčejné žárovky . . . . .	19
2.3	Konstrukce halogenové žárovky a) dvoustiskové, b) jednostiskové . . . . .	20
2.4	Konstrukce lineární zářivky . . . . .	22
2.5	Schéma zapojení zářivky . . . . .	22
2.6	Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem . . . . .	24
2.7	Základní konstrukční uspořádání světelné diody se dvěma krystaly . . . . .	26
3.1	Schéma zapojení panelu . . . . .	32
3.2	Upravené schéma pro DPS . . . . .	34
3.3	Popisová karta světelného zdroje . . . . .	37
3.4	Náčrt výsledné podoby panelu . . . . .	38
4.1	Schéma měřicího ústrojí . . . . .	39
4.2	Změřené světelné spektrum zdroje A . . . . .	43
4.3	Změřené světelné spektrum zdroje I . . . . .	44
4.4	Změřené světelné spektrum zdroje M . . . . .	44
4.5	Časový průběh světelného toku některých zdrojů . . . . .	45
4.6	Srovnání měrného výkonu světelných zdrojů . . . . .	46
5.1	Detail kazu na první vyrobené DPS . . . . .	49
5.2	Fotografie hotového panelu . . . . .	52
5.3	Připojení měřicích přístrojů k panelu . . . . .	53
A.1	Schéma první desky . . . . .	61
A.2	Schéma druhé desky . . . . .	62
A.3	Schéma třetí desky . . . . .	63
B.1	Návrh první desky . . . . .	65
B.2	Návrh druhé desky . . . . .	66
B.3	Návrh třetí desky . . . . .	67
C.1	Změřené světelné spektrum zdroje B . . . . .	68
C.2	Změřené světelné spektrum zdroje C . . . . .	69
C.3	Změřené světelné spektrum zdroje D . . . . .	69
C.4	Změřené světelné spektrum zdroje E . . . . .	70
C.5	Změřené světelné spektrum zdroje F . . . . .	70
C.6	Změřené světelné spektrum zdroje G . . . . .	71
C.7	Změřené světelné spektrum zdroje H . . . . .	71
C.8	Změřené světelné spektrum zdroje J . . . . .	72
C.9	Změřené světelné spektrum zdroje K . . . . .	72

C.10	Změřené světelné spektrum zdroje L . . . . .	73
C.11	Změřené světelné spektrum zdroje N . . . . .	73
C.12	Změřené světelné spektrum zdroje O . . . . .	74
C.13	Změřené světelné spektrum zdroje P . . . . .	74
C.14	Změřené světelné spektrum zdroje Q . . . . .	75
C.15	Změřené světelné spektrum zdroje R . . . . .	75
D.1	Matrice první desky – horní strana . . . . .	76
D.2	Matrice první desky – spodní strana . . . . .	76
D.3	Matrice druhé desky – horní strana . . . . .	77
D.4	Matrice druhé desky – spodní strana . . . . .	77
D.5	Matrice třetí desky – horní strana . . . . .	77
D.6	Matrice třetí desky – spodní strana . . . . .	78
E.1	Schéma zapojení s časovačem 555 . . . . .	79

## SEZNAM TABULEK

3.1	Převodník požadavků stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň . . . . .	28
4.1	Změřené hodnoty parametrů zdrojů A–K v ustáleném stavu . . . . .	41
4.2	Změřené hodnoty parametrů zdrojů L–R v ustáleném stavu . . . . .	42

# ÚVOD

Světlo a osvětlení mají na člověka zásadní vliv a vyvolávají řadu fyziologických i psychologických reakcí. Touto problematikou se zabývá poměrně velké množství oborů. Vysoké učení technické (VUT) v Brně, zejména pak Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií (FEKT) zkoumá zvláště světelnou techniku jako nauku o vzniku světla a o jeho využití pro potřeby člověka.

Celá tato práce slouží pro podporu zdejší výuky. Jejím cílem je navrhnout a pak také vyrobit panel se světelnými zdroji, který bude přehledným způsobem uvádět charakteristiky různých zdrojů světla a bude umožňovat měření nejrůznějších fotometrických a elektrických veličin.

V první části své práce charakterizují fotometrické veličiny, jež budou u světelných zdrojů měřeny.

Druhou část práce věnuji popisu jednotlivých skupin světelných zdrojů. Uvádím principy fungování, charakteristické vlastnosti, výhody, nevýhody a oblasti jejich použití.

Ve třetí části uvádím požadavky kladené na interaktivní panel a předkládám kompletní návrh celého panelu, který tyto požadavky zohledňuje.

Čtvrtá část popisuje způsob samotného měření a následně předkládá výsledky tohoto měření a jejich vyhodnocení.

Pátá a poslední část mé práce dokumentuje samotnou výrobu panelu.

# 1 FOTOMETRICKÉ VELIČINY

Fotometrické veličiny se užívají pro popis parametrů záření viditelného lidským okem. Jsou definovány podle citlivosti lidského oka, a jsou tudíž závislé na barevném složení zkoumaného záření. Těchto veličin je definováno více, budou ale zmíněny jen ty, které budou následně u světelných zdrojů změřeny.

## 1.1 Světelný tok

Světelný tok vyjadřuje schopnost zářivého toku vzbudit zrakový vjem. Jeho jednotkou je lumen (lm) [1].

Světelný tok vycházející z přibližně bodového světelného zdroje do elementárního prostorového úhlu  $d\Omega$  je roven součinu velikosti tohoto elementárního prostorového úhlu a svítivosti  $I$  daného zdroje ve směru osy tohoto elementárního prostorového úhlu [2]:

$$d\Phi = I d\Omega \quad (1.1)$$

## 1.2 Jas

Jas je měrná veličina svítivosti. Udává se v kandelách na  $m^2$ . Na tuto veličinu bezprostředně reaguje zrakový orgán.

Jas je obecně určen prostorovou a plošnou hustotou světelného toku [3]:

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dS} \quad (1.2)$$

Jas se mění úměrně se změnou světelného toku, a to v prostředí, kde je světlo pohlcováno, vyzařováno či rozptylováno. V prostředí homogenním, nepohlcujícím a nerozptylujícím je jas neměnný; nezávisí na vzdálenosti od zdroje světla.

Kromě kandely na čtvereční metr (dříve označované jako nit [nt]) existují i další jednotky [3]:

stilb (sb):	$1 \text{ sb} = 10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
apostilb (asb):	$1 \text{ asb} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2} = \frac{1}{\pi} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \doteq 0,3183 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
lambert (La):	$1 \text{ La} = 1 \text{ lm} \cdot \text{cm}^{-2} = \frac{1}{\pi} \text{ sb} \doteq 3183 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
footlambert (fL):	$1 \text{ fL} \doteq 3,426 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

### 1.2.1 Svítivost

Svítivost je základní fotometrickou veličinou, jejíž jednotkou je kandela (cd). Jedna kandela je svítivost v daném směru zdroje, který vysílá monochromatické záření o frekvenci  $540 \cdot 10^{12}$  Hz a jehož zářivost v tomto směru činí  $\frac{1}{683}$  wattů na steradián [4].

## 1.3 Příkon

Příkon je základním parametrem pro vyhodnocování energetické náročnosti světelných zdrojů (resp. svítidel). Pro určení okamžitého příkonu slouží známý vztah [5]

$$p(t) = u(t) \cdot i(t), \quad (1.3)$$

pro stejnosměrný proud lze tedy odvodit vztah

$$P = U \cdot I \quad (1.4)$$

a pro proud střídavý vztah

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) \cdot i(t) dt. \quad (1.5)$$

V případě sinusového průběhu (který je nejčastější) platí vztah

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi). \quad (1.6)$$

Jednotkou příkonu je watt (W).

## 1.4 Měrný výkon

Měrný výkon (neboli účinnost světelného zdroje) je definován jako podíl světelného toku zdroje buďto k jeho výkonu, nebo k jeho příkonu [2]:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad [\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}] \quad (1.7)$$

## 1.5 Účinit

Poměr činného a zdánlivého výkonu (případně příkonu) se označuje jako účinit ( $\cos \varphi$ ). Jde o bezrozměrnou veličinu [5]:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (1.8)$$

## 1.6 Index podání barev

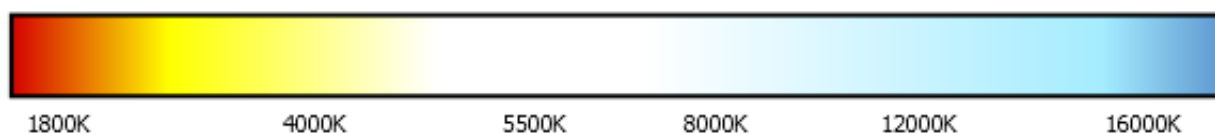
Kvalitu světla daného zdroje v porovnání s přirozeným světlem slunce hodnotí index podání barev – CRI. Tento index tak udává věrnost podání barev předmětů osvětlených daným zdrojem. CRI je bezrozměrná veličina. Udává se na stupnici od 0 do 100, kdy hodnota 100 odpovídá barevnému podání při osvětlení předmětu pouze slunečním světlem, a tedy podání naprosto věrnému. Emitované světlo je proto kvalitnější, pokud se hodnota CRI blíží ke stovce [6].

## 1.7 Teplota chromatičnosti

Tento parametr se někdy nazývá také teplota barvy světelného zdroje a jeho hodnota je rovna teplotě černého zářiče, jehož záření má tutéž chromatičnost (barevnou vlastnost světla) jako uvažované záření. Jednotkou je kelvin (K) [7].

Čím vyšší je teplota, tím je podíl modré složky vyšší a podíl červené složky nižší (viz obr. 1.1).

Obr. 1.1: Spektrum barevné teploty



Zdroj: [8]

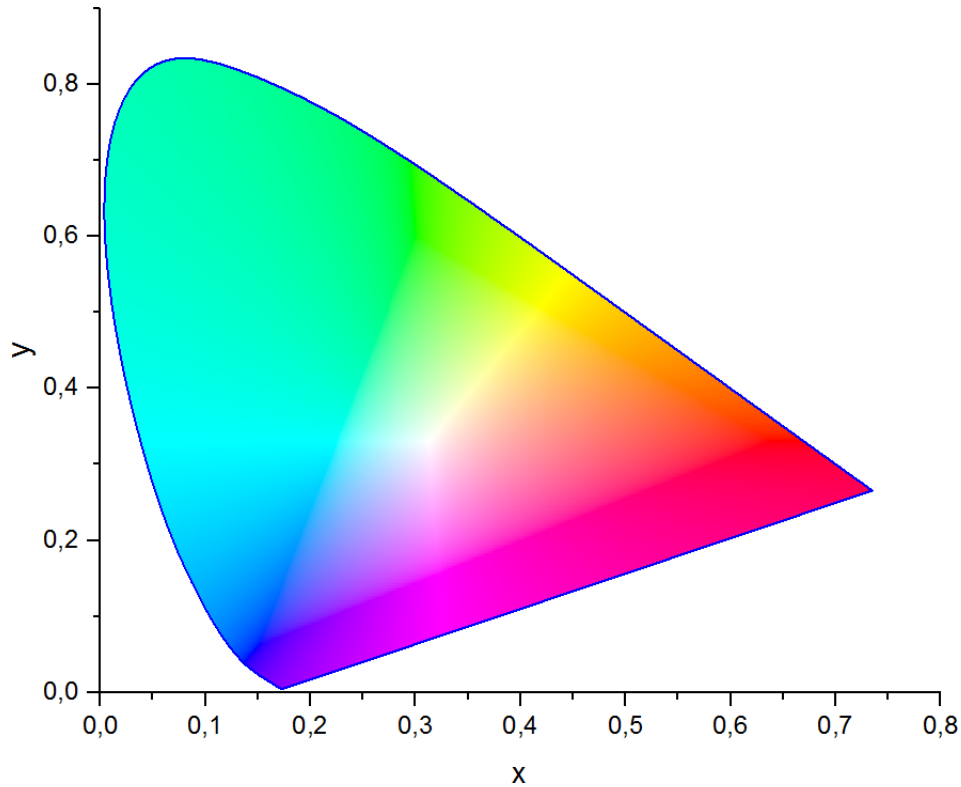
## 1.8 Diagram chromatičnosti

Kolorimetrický trojúhelník neboli diagram chromatičnosti je množina bodů v rovině, z nichž každý zastupuje jistou barevnou jakost světla. Nejčastěji se používá pravouhlá trichromatická soustava souřadnic  $(x, y)$  [9] [10]. Pro znázornění této množiny se zpravidla užívá diagram vyvinutý CIE v roce 1931, který je vyobrazen na obr. 1.2.

### 1.8.1 Trichromatické souřadnice

Ke kvantitativnímu popisu barev se zavedla trichromatická soustava, ve které se vychází z předpokladu, že adičním mísením tří základních světél (700nm, 546,1nm a 435,8nm) lze vzbudit vjem jakékoliv barvy [12].

Obr. 1.2: Diagram chromatičnosti CIE 1931



Zdroj: [11], upraveno autorem

Trichromatické souřadnice využívané pro popis jednotlivých barev vycházejí z trichromatických složek ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), které se vypočítají integrací spektrálního složení barevného podnětu a trichromatických členitelů (dle definice Standardního kolorimetrického pozorovatele CIE 1931) v celém rozsahu viditelného spektra. Trichromatické souřadnice jsou pak rovny podílu trichromatických složek a jejich součtu [12] [9] [10]:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (1.9)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (1.10)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (1.11)$$

Zároveň platí, že

$$x + y + z = 1, \quad (1.12)$$

proto se běžně pracuje jen se dvěma souřadnicemi (nejčastěji  $x$  a  $y$ ).

## 2 CHARAKTERISTIKA SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Světelný zdroj je jakékoliv těleso schopné vyzařovat optické záření ve viditelné oblasti spektra. Světelné zdroje lze rozdělit na přírodní a umělé. K přírodním se řadí slunce, měsíc, blesk apod., k umělým<sup>1</sup> patří např. svíčka nebo petrolejová lampa a dále samozřejmě elektrické zdroje [3]. Rozdělení elektrických zdrojů znázorňuje obr. 2.1.

Dále lze světelné zdroje rozdělit na primární (prvotní) a sekundární (druhotné). Primární zdroj je takový, jež vyzařuje světlo vzniklé přeměnou energie v něm samém. Sekundární zdroj naopak žádné záření netvoří a světlo pouze zčásti propouští nebo odráží (typicky světlovody), technicky tedy nejde o světelný zdroj [3].

Při návrhu panelu je důraz kladen na představení co největšího počtu dostupných světelných zdrojů, nicméně existují omezení, především prostorová, a proto bylo zvoleno pouze několik základních skupin těchto zdrojů. Snahou je zakomponovat běžně dostupné zdroje světla, nikoliv představit ty neobvyklé, nebo přímo raritní.

V následujícím textu budou představeny druhy světelných zdrojů vybrané pro prezentaci na panelu.

### 2.1 Obyčejné žárovky

Tyto světelné zdroje patří do skupiny teplotních zdrojů (viz obr. 2.1), záření proto vzniká rozžhavením kovového vlákna. Nejčastěji používaným materiálem pro vlákno je dnes wolfram, dříve se mohlo jednat i o platinu, uhlík, osmium nebo tantal [3]. Toto vlákno je svinuto do jednoduché nebo dvojité šroubovice [6] o průměru 10–120  $\mu\text{m}$  [13] a vlivem procházejícího proudu se rozžhaví na vysokou teplotu, která se pohybuje v rozmezí 2 300–2 900 K [2]. Teplotu vlákna lze přibližně určit pomocí pyrometu [14].

Spektrum světla vyzařovaného obyčejnou žárovkou je spojité a světlo má teplý odstín (teplota chromatičnosti 2 700–2 900 K [3]), obojí lze považovat za charakteristickou vlastnost všech teplotních zdrojů. Jako výhody žárovek lze uvést jednoduchou a nenákladnou konstrukci, index podání barev  $R_a = 100$ , stabilní svícení s okamžitým startem a možnost přímého napájení (bez předřadných obvodů) [3].

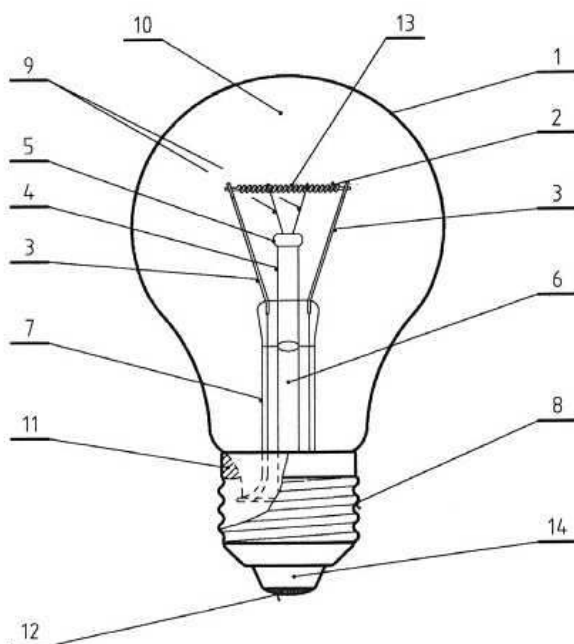
Oblast použití těchto žárovek je ovšem omezená zejména z důvodu velice nízké účinnosti. Ta nabývá hodnot od 7 % do 10 %, pokud ovšem zanedbáme záření lidským okem nezaznamenané, účinnost se sníží na rozmezí 1,5–4 %. Dalšími problémy jsou nízký měrný výkon (maximálně 50  $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ , což je již hodnota v praxi nedosažitelná, běžně lze měřit hodnoty do 20  $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$  [3]), poměrně krátká životnost a výrazná závislost parametrů na napájecím napětí (nejčastějším projevem je snížení životnosti v případě zvýšeného napětí).

---

<sup>1</sup>Umělý světelný zdroj je zdroj záření, který byl pro tento účel zhotoven.



Obr. 2.2: Konstrukce obyčejné žárovky



1. baňka
2. wolframové vlákno
3. přívody
4. tyčinka
5. čočka
6. čerpací trubička
7. talířek
8. patice
9. háčky (podpěrky)
10. plynná náplň
11. tmel
12. pájka
13. getr
14. izolace patice

Zdroj: [15]

### 2.1.1 Patice E27

Nejčastější paticí pro běžné světelné zdroje v domácnostech je patice s tzv. Edisonovým závitem. Ve většině svítidel určených pro síťové napětí 230 V se využívá právě patice E27.

Vnější průměr této patice je 27 mm, závit je standardizovaný a zaoblený, nemá tedy ostré hrany, což zajišťuje snazší manipulaci a nižší pevnost spoje, která ale u světelných zdrojů není tolik potřebná. Úkolem závitu (resp. patice) je zajistit elektricky vodivé spojení s co nejmenším odporem, odolat vyšším teplotám (teplota na patici je velmi závislá na poloze a může dosahovat až 90 °C [16]) a mechanicky upevnit světelný zdroj v objímce bez dalšího namáhání [2].

Tímto závitem roku 1881 opatřil žárovku Edison, po němž je pojmenován. Kromě patice E27 se užívá i patice E14 a méně často E40<sup>2</sup> [15].

## 2.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin [17]. Tyto žárovky byly vyvíjeny s cílem potlačit usazování wolframu na baňce (jev

<sup>2</sup>Číslo udává vnější průměr patice v milimetrech.

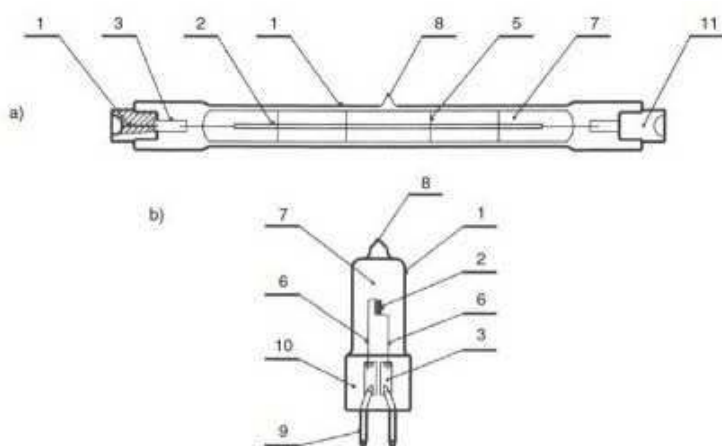
běžný u klasických žárovek) a zvýšit stabilitu světelného toku v průběhu svícení. U obyčejných žárovek byly vyčerpány technické možnosti dalšího vývoje, proto se výzkum odebral směrem přidávání plynných náplní do baněk [3].

Jelikož halogeny patří mezi silně elektronegativní prvky [18], bylo třeba použít pro výrobu jiné materiály, aby nedocházelo k nežádoucím reakcím. Tyto materiály musely rovněž odolat pracovní teplotě minimálně 250 °C (což u žárovek klasických představuje teplotu maximální [16]), díky čemuž bylo dosaženo zmenšení rozměrů žárovky. Pro snížení pravděpodobnosti výskytu výboje mezi závity vlákna se (obdobně jako u obyčejných žárovek) mimo inertního plynu a halogenu do baňky přidává ještě dusík.

Konstrukci halogenové žárovky znázorňuje obr. 2.3.

Obr. 2.3: Konstrukce halogenové žárovky

a) dvoustiskové, b) jednostiskové



1. baňka
2. wolframové vlákno
3. molybdenová fólie
4. molybdenový přívod
5. podpěrka
6. konečky vlákna
7. plynná náplň
8. odpalek čerpací trubičky
9. kolík
10. stisk
11. keramická patice

Zdroj: [15]

Díky použití halogenů lze dosáhnout buďto prodloužení života při zachování měrného výkonu (4 000–5 000 hodin), nebo maximálního zvýšení měrného výkonu ( $30 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ ) za cenu velmi nízkého života (15 h). Světlo vyzařované halogenovou žárovkou je bělejší, avšak jeho spektrální složení je obdobné jako u obyčejné žárovky. Teplota chromatičnosti se pohybuje v mezích od 2 900 do 3 100 K. Lze dosáhnout i hodnoty 3 400 K, avšak za cenu velmi nízkého života. Oproti klasickým žárovkám je stabilita světelného toku v průběhu svícení vyšší [3].

Jako nevýhody lze uvést vyšší výrobní náklady (spojené s náročnější technologií), a tím i cenu, a omezenou možnost stmívání.

Přestože tyto žárovky vykazují lepší parametry než žárovky klasické, stále se jedná o teplotní zdroje, a energetická účinnost tedy bude vždy poměrně nízká. Jejich nepřilíš

vysoký měrný výkon vymezuje oblast použití zejména na domácnosti a aplikace, kde není třeba vysoká hodnota osvětlení.

## 2.3 Lineární zářivky

Zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka, v níž je hlavní část světla vyzařována jednou nebo několika vrstvami luminoforu buzeného ultrafialovým zářením výboje [17]. U všech výbojových zdrojů (viz obr. 2.1) je základním principem průchod proudu prostředím vhodných plynů nebo směsí. V případě zářivky se jedná již podle definice o rtuť. Nejčastějším provedením je trubice (potom jde o lineární zářivky), objevují se ale i jiné tvary (kruh, tvar U apod.). Barevný odstín vyzařovaného světla stejně jako index podání barev do značné míry ovlivňuje použitý luminofor.

Výrazné zlepšení pozice zářivek umožnily dvě skutečnosti; vývoj luminoforů umožnil zvýšit účinnost zářivek při zachování kvality světla a pokrok v oblasti elektroniky zajistil zlepšení podmínek pro vznik rtuťového výboje, zvýšení provozní frekvence a zmenšení rozměrů zářivek. Díky těmto pokrokům se na trhu objevily zářivky s výkonem nad  $100 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  a indexem barevného podání  $R_a \geq 80$ . Tlak nasycených rtuťových par, ve kterých probíhá výboj, je zhruba  $0,8 \text{ Pa}$  [3].

Konstrukce lineární zářivky je zobrazena na obr. 2.4.

Používané patice jsou G13 nebo G5. Obě obsahují dva kolíky pro zajištění kontaktu i upevnění.

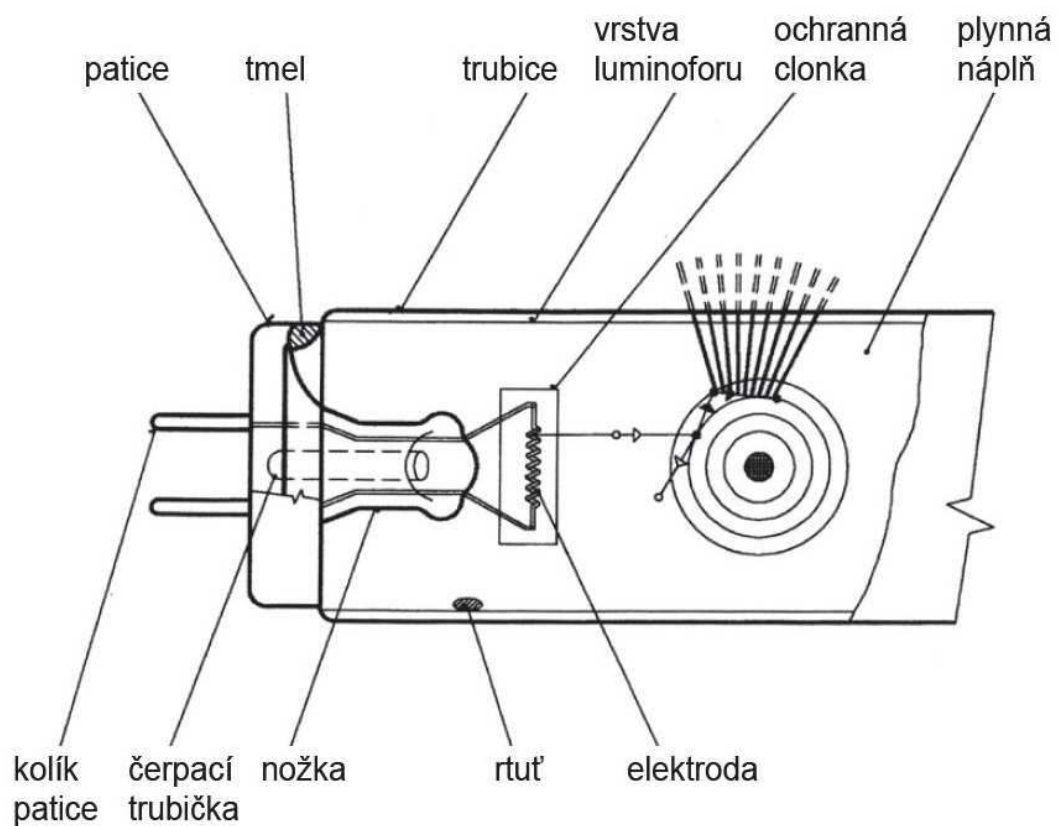
Základní zapojení zářivky do obvodu je znázorněno na obr. 2.5.

U některých zvláštních typů zářivek lze dosáhnout i indexu podání barev  $R_a = 98$  při dobrém měrném výkonu nebo dlouhého života – přes 20 000 h. Jako pozitivum lze uvést i geometrické parametry zářivek, které umožňují velkou variabilitu při návrhu svítidel. Teplota chromatičnosti u těchto zdrojů nabízí široký sortiment od 2 700 do 17 000 K, lze tedy zvolit vhodnou barvu světla prakticky pro každou aplikaci [3].

Při využití elektronického předřadníku lze zářivky provozovat na vyšším kmitočtu a tím dosáhnout dalších předností, zejména vyšší účinnosti (až o 10 %) nebo rychlého startu a stabilního svícení (spojeného s úplným potlačením stroboskopického jevu). Zároveň je možné zmenšit rozměry trubice, což přináší zvýšení účinnosti minimálně o 5 % (zářivky s průměrem 16 mm oproti 26mm) a současně snížení nákladů a více možností konstrukce svítidel [3].

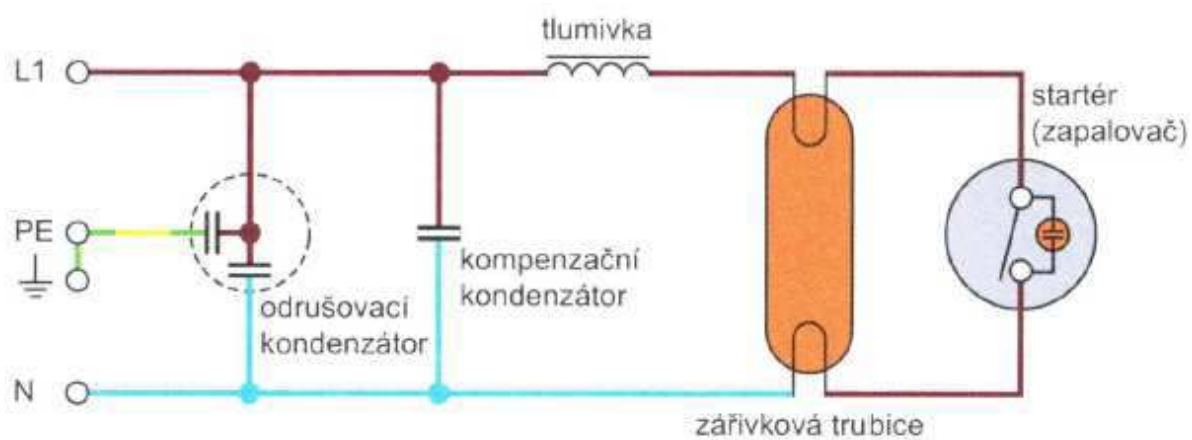
Nejvýraznější nevýhodou zářivek je výrazná závislost světelného toku na teplotě prostředí, kdy nejvyšších hodnot lze dosáhnout při teplotě přibližně  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  [15]. Zmíněná vlastnost omezuje oblast použití těchto zdrojů.

Obr. 2.4: Konstrukce lineární zářivky



Zdroj: [15]

Obr. 2.5: Schéma zapojení zářivky



Zdroj: [19]

### 2.3.1 Luminofor

Luminofor je látka schopná pohlcovat záření jistých vlnových délek (např. UV záření) a následně produkovat záření o jiných parametrech (např. viditelné záření). Tato schopnost se nazývá fotoluminiscence [16].

V případě, že doba emitovaného záření je kratší než  $10^{-8}$  s, hovoříme o fluorescenci. V opačném případě jde o fosforescenci [16].

Využití nachází luminofory zejména při buzení krátkovlnným UV zářením, které vzniká v nízkotlakém rtuťovém výboji. Tento výboj produkuje přes 50 % energie v UV oblasti. Díky transformaci této části energie pomocí luminoforů bylo dosaženo zvýšení měrného výkonu zářivek i nad  $80 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  [16].

Luminoforem mohou být křemičitany, wolframany, sulfidy, selenidy nebo některé oxidy (MgO, SrO, CaO). Teplotu chromatičnosti emitovaného světla lze značně měnit použitím různých aktivátorů, a zejména změnou jejich množství v základní látce. Používanými aktivátory jsou zlato, stříbro, bismut nebo mangan [16].

Úsilí se klade i na vývoj luminoforů, které za pomoci několikafotonové excitace transformují i infračervené záření, jehož podíl na vyzařovaném spektru je u všech zdrojů velký, na viditelné světlo. Takové látky se označují jako anti-Stokesovy luminofory [16].

## 2.4 Kompaktní zářivky

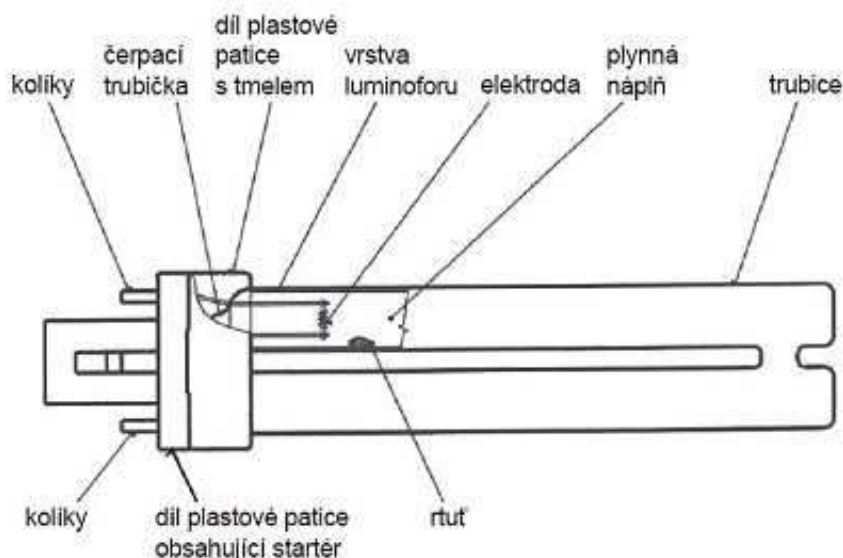
Kompaktní zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, kde hlavní část světla je vyzařována vrstvou luminoforu buzeného UV zářením výboje, obdobně jako u zářivek lineárních. Kompaktní zářivky přináší světelný tok a kvalitu podání barev srovnatelné s klasickými žárovkami, oproti nim však mají výrazně větší účinnost a delší život. Oblíbené jsou zejména modely s integrovaným předřadníkem a klasickou patičkou E27.

Na obr. 2.6 je znázorněna konstrukce čtyřnásobné kompaktní zářivky.

Měrný výkon těchto zdrojů nabývá hodnot od 50 do  $90 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ , život je oproti obyčejným žárovkám 5krát až 20krát delší. Závislost světelného toku na teplotě prostředí není tak výrazná jako u zářivek lineárních, vliv okolní teploty lze navíc minimalizovat použitím přídavného amalgámu (např. indium nebo kadmium), který přebírá funkci zdroje rtuti od zapnutí do doby, než dojde k jejímu uvolnění. Tehdy se světelný tok blízký optimálnímu vyskytuje při teplotách přibližně od 10 do  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , což je obvykle dostačující [3]. Dosažitelné teploty chromatičnosti se pohybují obvykle mezi 2 700 a 6 500 K, existují ale i zářivky s teplotou 8 000 K; takové zářivky nacházejí uplatnění v aplikacích s nedostatkem denního světla. Život těchto zdrojů se udává až 20 000 h.

Mezi nejzásadnější nevýhody se řadí obsah toxické rtuti (což je samozřejmě negativem i lineárních zářivek) a omezení horní hranice příkonu dané možnostmi nízkotlakého výboje.

Obr. 2.6: Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem



Zdroj: [15]

Zvláštní využití nacházejí nízkotlaké výbojky s trubicí z tzv. uviolového skla, které propouští záření v UV oblasti. Tyto výbojky jsou bez luminoforu a produkují záření o vlnové délce 253,7 nm. Těchto výbojek se užívá k desinfekci vody, vzduchu, ploch v průmyslu apod. Dále lze uvést kompaktní zářivky s trubicí z černého skla, jež jsou zdrojem záření s vlnovou délkou 350–450 nm a používají se v bankovníctví, kriminalistice atd. V lékařství (pro léčbu novorozenecké žloutenky) se zase užívá zdrojů s luminoforem, který vykazuje maximum záření v modré oblasti spektra.

## 2.5 LED zdroje

Seskupením jednotlivých LED diod do větších celků vznikají LED zdroje. Ty mohou být kompaktní, kterými lze ve svítidlech nahradit obyčejné žárovky, reflektorové apod. Specifické místo na trhu zaujaly LED pásy.

Geometrické parametry umožňují vytvářet velmi rozmanitá svítidla a přístroje a (díky malým rozměrům) koncentrovat svazek zářivé energie.

Malé napájecí napětí značí nepotřebnost ochrany před nebezpečným dotykem; u zdrojů určených pro přímé připojení do sítě 230 V tuto ochranu však zanedbat nelze. Nejčastěji se lze setkat s nutností dvojité izolace u kompaktních zdrojů opatřených kovovým chladičem, který by se jinak mohl v případě poruchy ocitnout pod napětím.

Výhod plynoucích z elektrických parametrů LED je mnoho. Doba náběhu je kratší než u žárovek a odezva je v řádu nanosekund; impulsní pracovní režim nemá vliv na jejich život ani spolehlivost. Stmívat lze tyto zdroje beze změny barvy světla a napájení lze pro nízký příkon realizovat i solárními články. Na rozdíl od jiných zdrojů je účinnost barevných LED vysoká, neboť nejsou použity filtry způsobující ztráty.

Tyto zdroje jsou vysoce spolehlivé a mohou svítit v libovolné poloze při extrémně dlouhém životu (60–100 tisíc hodin) a nevyzařují v oblasti UV ani IR, což přináší možnost využívat pro konstrukci přístrojů plasty. Absence vlákna a křehkých materiálů zajišťuje dobrou mechanickou odolnost, absence rtuti řadí tyto zdroje mezi ekologicky přijatelné, čemuž svědčí i recyklovatelnost většiny použitých materiálů.

Nevýhody LED zdrojů jsou stále ještě vysoká cena a výrazná závislost jejich parametrů na okolní teplotě, přesto se oblast jejich použití neustále rozšiřuje. Mnoho jiných zdrojů již bylo LED zdroji nahrazeno a další nahrazeny bezesporu budou.

### 2.5.1 LED diody

Světelná (LED) dioda je polovodičová součástka, jejímž principem je PN přechod, který emituje optické záření, jestliže je buzen průchodem elektrického proudu [17]. LED dioda je rovněž nejvýznamnějším představitelem skupiny elektroluminiscenčních světelných zdrojů (viz obr. 2.1).

LED diody dosahují velmi vysoké účinnosti přeměny energie:  $60 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  u modrých diod, přes  $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  v případě bílých diod,  $260 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  pro červené diody, přes  $500 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  u diod žlutých, a pro zelené diody dokonce  $590 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  [3], což těmto zdrojům zajišťuje velmi významnou pozici na poli světelných zdrojů.

Konstrukce světelné diody je znázorněna na obr. 2.7. Pro PN přechody se používají nejčastěji polovodiče typu  $A^{III}B^V$  vysoké čistoty. Princip funkce LED diody (uvolnění určitého kvanta energie při rekombinaci páru elektron–díra po jejich vzájemném přiblížení vlivem přiložení napětí správné polaroty) neumožňuje získat bílé světlo přímo, existují však dva způsoby, jak toho docílit.

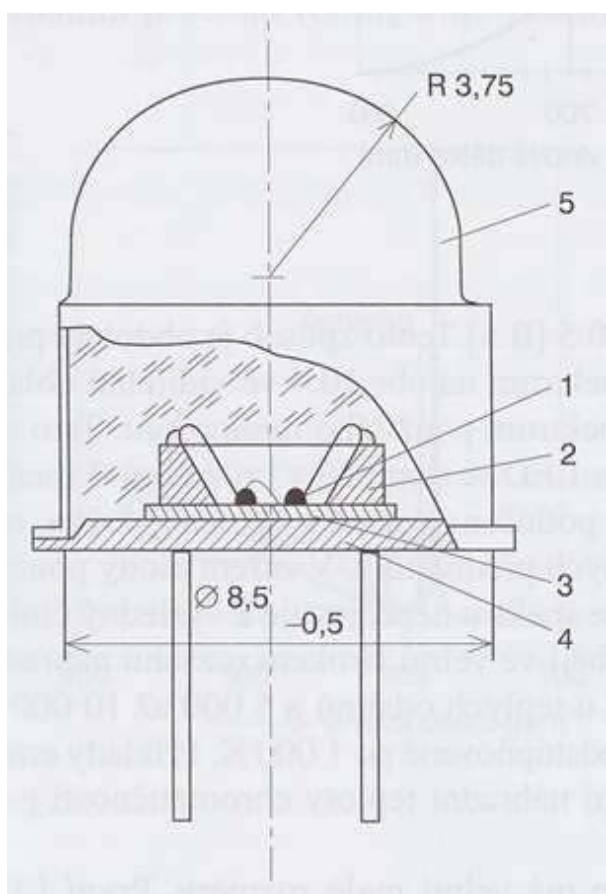
Zprv je možné mísit světla červené, zelené a modré diody (aditivní míchání barev [13]), což ovšem přináší nižší výsledný jas a v průběhu života může docházet ke změně výsledného spektra z důvodu nerovnoměrné degradace jednotlivých druhů čipů.

Zadruhé se využívá fosforescence luminoforů (viz 2.3.1), nejčastěji jde o  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$  buzený světlem modré diody, InGaN [3] nebo třípásmový luminofor buzený zářením UV diody (což je způsob obdobný klasickým zářivkám). Varianta využití luminoforů je oproti LED se třemi čipy rozměrově menší a energeticky úspornější, index podání barev je ovšem o něco nižší. V případě třípásmového luminoforu dosahuje  $R_a$  hodnot nad 80. Bílé LED se vyrábějí v rozsahu teploty chromatičnosti od 2 500 do 4 000 K pro teplé odstíny a 5 000 až 10 000 K pro odstíny studené.

Vlastní polovodičový čip má plochu v řádu jednotek mm<sup>2</sup> a proud, který jím prochází, se pohybuje v jednotkách amperů, což zajišťuje příkon až 10 W. V reálných podmínkách<sup>3</sup> lze tedy dosáhnout světelného toku až 1 000 lumenů. Pro získání většího světelného toku je možné použít sériové zapojení několika krystalů.

Při napájení světelných diod je třeba zohlednit jejich kombinaci a počet. Používají se zdroje konstantního proudu, které zároveň nastavují optimální pracovní teploty diod.

Obr. 2.7: Základní konstrukční uspořádání světelné diody se dvěma krystaly



1. polovodič s PN přechodem
2. reflektor
3. keramická destička odvádějící teplo
4. podložka
5. polokulová čočka

Zdroj: [3]

<sup>3</sup>Laboratorní podmínky zajišťují hodnoty několikanásobně vyšší, ovšem po velmi krátkou dobu. Pro praktické využití jsou tato zjištění naprosto bezcenná.

## 3 NÁVRH PANELU

### 3.1 Požadavky

#### 3.1.1 Účel

Účelem celého zařízení bude představit studentům (případně jiným osobám) různé světelné zdroje a některé jejich charakteristiky a parametry. Důraz musí být kladen na názornost.

#### 3.1.2 Funkce

Na panelu bude umístěno dvacet světelných zdrojů v patičkách E27 a jedna lineární zářivka. Každý zdroj bude možno tlačítky rozsvítit a zhasnout. U každého zdroje bude uvedeno několik jeho parametrů.

Zejména z důvodu úspory elektrické energie a zvýšení životnosti jednotlivých zdrojů se požaduje dvojí režim fungování:

- Pro oprávněnou osobu, která vlastní potřebný klíč, bude umožněno po odemknutí uzamykatelného spínače rozsvícení libovolných světelných zdrojů po neomezenou dobu. Předpokládá se, že osoba, jíž byl klíč svěřen, má základní povědomí o fungování panelu (resp. elektrických zařízení obecně) a nezpůsobí svým jednáním žádnou škodu.
- Pro osoby bez klíče bude do celého obvodu vřazen časovač, který po stanovené době (např. jedna minuta) celé zařízení vypne.

#### 3.1.3 Rozměr

Panel bude umístěn v laboratoři světelné techniky FEKT VUT v Brně (místnost SA5.11) na zdi. Šířka je omezena fyzicky zleva jinými přístroji a zprava oknem, zatímco výška je stanovena ergonomií ovládání a čitelnosti popisů. Maximální rozměry tak byly stanoveny na  $150 \times 80$  cm (v  $\times$  š).

#### 3.1.4 Materiály a provedení

Celý výrobek musí samozřejmě odpovídat technickým normám, a to zejména z hlediska bezpečnosti. Zařízení musí být jištěno proti zkratu a přetížení; elektrické části musí být umístěny na/v nehořlavých hmotách.

V tomto smyslu se materiály rozdělují do několika skupin buď dle třídy reakce na oheň (ČSN EN 13501-1), nebo dle stupně hořlavosti (dříve platná ČSN 73 0862).

Platnost ČSN 73 0862 „Stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot“ byla ukončena ke dni 31. 12. 2003. S platností od 1. 7. 2003 platí na území ČR nový způsob klasifikace hořlavosti označovaný jako „reakce na oheň“ a shrnutý v klasifikační normě ČSN EN 13501-1.

Vzájemný vztah těchto norem (resp. klasifikací) znázorňuje tab. 3.1. Materiály použité na výrobu panelu musí spadat do třídy A1.

Tab. 3.1: Převodník požadavků stupňů hořlavosti na třídy reakce na oheň

<b>Třída reakce na oheň</b> (ČSN EN 13501-1)	<b>Stupeň hořlavosti</b> (dříve platná ČSN 73 0862)	<b>Slovní vyjádření</b>
A1	A	nehořlavé
A2	B	nesnadno hořlavé
B	C1	těžce hořlavé
C nebo D	C2	středně hořlavé
E nebo F	C3	lehce hořlavé

Zdroj: [20]

Celé zařízení musí být zabezpečeno proti nebezpečnému dotyku. To bude realizováno prostřednictvím krytí, které bude odpovídat minimálně stupni IP 20. Takové krytí zabráni nebezpečnému dotyku prstem a vniknutí pevných cizích těles o průměru 12,5 mm a větších.

Ze studijních předpisů FEKT vyplývá, že každý, kdo bude mít přístup do této laboratoře, musí mít platnou elektrotechnickou kvalifikaci dle vyhlášky č. 50/1978, a bude tedy seznámen se zásadami práce s elektrickým zařízením. Není proto nutné zajišťovat doplňkovou ochranu.

Dalším požadavkem je barva celého panelu. Vzhledem k tomu, že v dané laboratoři probíhají častá měření parametrů světelné a osvětlovací techniky, je třeba zajistit optimální podmínky – laboratoř disponuje možností kompletního zatemnění a téměř vše se zde vyskytuje v černé barvě. Proto i navrhovaný panel by měl být pokud možno černý, aby neovlivňoval výsledky měření.

Ovládání celého zařízení musí být jednoduché a na první pohled zřejmé. Není možné porušit zaběhnuté zvyklosti.

### 3.1.5 Napájení

Napájení panelu bude realizováno pohyblivým přívodem a bude použita běžná jednofázová zásuvka o napětí 230 V jištěná 10A jističem. Jako dostatečná se vzhledem k uvažovanému umístění panelu jeví délka přívodu 150 cm. Jelikož se jedná o spotřebič třídy I., přívod

bude třívodičový – tedy včetně ochranného vodiče, který bude připevněn k případným kovovým částem.

V případě výpadku napájecího napětí nesmí po jeho opětovném přivedení dojít k samočinnému rozsvícení kteréhokoliv ze světelných zdrojů.

### **3.1.6 Uchycení**

Požadavek přímé montáže na zeď (plná zeď z tvárnic) byl určen dispozicemi místnosti – položení nebo opření není možné, panel bude nutno zavěsit. Musí být však rovněž umožněno jednoduchým způsobem panel v případě nutnosti demontovat.

## **3.2 Návrh konstrukce panelu**

### **3.2.1 Nosná konstrukce**

Celý panel bude umístěn do skříně (s dvířky) rovněž černé barvy. Pro uchycení veškerých částí bude využita nosná (podkladová) deska této skříně. Z bezpečnostních důvodů musí být celá skříň zhotovena z izolačního materiálu. Vyhovujících materiálů je na trhu více, lze jmenovat např. kartit (neboli pertinax), texgumoid, sklotextit atd. Dále se nabízí materiály, které nemají tak významné, nicméně stále dostačující izolační vlastnosti. Jsou to mj. PVC, polymethylmethakrylát (PMMA; plexisklo), polyetylen nebo polykarbonát.

S ohledem na bezpečnostní požadavky je zároveň nutné zvolit nehořlavý materiál, tzn. materiál třídy A1 (viz tab. 3.1). Zohledněním tohoto omezení se nabízí např. cementové desky, cementotřískové desky, cemvin (vláknocementová deska), RT desky, Vikupor, Fermacell apod. Všechny tyto materiály jsou na trhu běžně dostupné. Po srovnání vlastností a cen těchto materiálů byl zvolen Vikupor.

#### **3.2.1.1 Desky Vikupor®**

Vikupor je deska z PVC dodávaná v tloušťkách 1–10 mm vyznačující se nízkou hmotností a snadným mechanickým zpracováním. Deska je nehořlavá (třída A1) a voděodolná. Manipulace s deskou není náročná, desku lze vrtat, řezat nebo upravovat bez potřeby speciálního nářadí. Deska se nedrolí, nedeformuje, neexpanduje ani se nezkracuje [21].

Dostatečnou pevnost vykazují desky o tloušťce 10 mm. V této tloušťce se dodávají pouze desky bílé barvy, proto bude třeba zajistit nástřik nejprve základovým (bezbarvým) a následně černým akrylovým lakem (ve dvou vrstvách).

### 3.2.2 Uchycení zdrojů

S ohledem na počet zdrojů bude využito pět parapetních kanálů o rozměru  $170 \times 70$  cm. Kromě lineární zářivky budou všechny zdroje opatřeny paticemi E27, které budou vždy zabudovány (zapuštěny) v kratší stěně parapetního kanálu (nahore). Delší (přední) stěna kanálu poslouží pro umístění popisových karet, které budou obsahovat vždy název zdroje, jeho charakteristické vlastnosti a světelné spektrum.

Jednotlivé zdroje budou umístěny ve vzájemné vzdálenosti 16 cm, v jedné řadě jich tedy bude pět. Díky tomuto rozmístění bude maximální velikost popisové karty  $16 \times 16$  cm včetně okraje.

Pátý (spodní) parapetní kanál poslouží k uchycení lineární zářivky (resp. jejích patic) a hlavních (resp. jednotlivým zdrojům nadřazených) elektrických prvků (vypínač, STOP tlačítko, přepínač režimu, uzamykatelný spínač).

Tlačítka (*SB1–SB21*; viz 3.2.4) budou zapuštěna v přední stěně parapetního kanálu u každého zdroje jednotlivě.

Parapetní kanál v černé barvě se již běžně neprodává, bude proto využit kanál v bílé barvě a bude opatřen stejným nástřikem jako plastové desky. Kanál vykazuje stejně jako plastové desky třídu reakce na oheň A1 (viz tab. 3.1), není proto nutné užívat nehořlavé podložky.

Vzhledem k předpokládané velikosti použitých světelných zdrojů byla zvolena výška panelu 143 cm.

### 3.2.3 Návrh skříně

Z plastových desek bude vytvořena skříň, na jejíž dno budou připevněny jednotlivé parapetní kanály. Vnitřní rozměry skříně jsou určeny panelem, tedy  $143 \times 80$  cm s hloubkou 11 cm. Vodiče propojující mezi sebou jednotlivé kanály budou vedeny zezadu (na zadní straně dna skříně), proto budou boční stěny přesahovat dno o 3 cm (dno bude o tři centimetry odsazeno od zdi).

Skříň bude opatřena dvoukřídlými dvířky v plné šíři. Dvířka budou zavěšena lamelovými závěsy a budou opatřena úchytkami a magnety zabraňujícími samovolnému otvírání.

Pro zhotovení skříně budou třeba desky těchto rozměrů:

- $1430 \times 800$  mm (1 ks) – dno
- $800 \times 160$  mm (2 ks) – vrchní a spodní stěna
- $1450 \times 160$  mm (2 ks) – boční stěny
- $1425 \times 397$  mm (2 ks) – křídla dvířek

Spojení desek bude realizováno pomocí lepidla a vrutů tak, aby nemusely být použity žádné další viditelné prvky (např. kovové profily).

### 3.2.4 Elektrické zapojení

Schéma zapojení panelu je částečně znázorněno na obr. 3.1. Blok zvýrazněný černou přerušovanou čarou představuje část obvodu, která ovládá jeden světelný zdroj. Těchto bloků je v celém schématu přítomno 21 (pro 21 zdrojů) ve vzájemném paralelním spojení. Jednotlivé světelné zdroje jsou pro jednoduchost znázorněny diodami  $Zx$  ( $Z01-Z21$ ). Celé schéma je k dispozici na přiloženém CD.

Do panelu je přivedeno běžné fázové napětí, vstup je ve schématu označen prvkem *SIT*. Celé zařízení je jištěno trubičkovou pojistkou *F1* (v pojistkovém pouzdře), za kterou je zařazen hlavní vypínač *ZAP* a vypínací tlačítko *STOP*, které celý panel odpojí.

Ovládací část obvodu je zčásti napájena přes 24V transformátor *TRF1* (bezpečné malé napětí). Toto napětí bude dvojcestně usměrněno pomocí Graetzova můstku *M1* a filtrováno kondenzátorem *C1*.

Blok *CASOVAC* značí svorkovnici pro připojení časového relé. Kontakt 1 slouží pro výstup (spínaný kontakt), kontakt 2 je vstup fázového vodiče, kontakt 3 je vstup nulového vodiče a kontakt 4 je vstup signálu spínacího relé. Použito je relé CS3-4 od firmy Elektrobock CZ, které po přivedení napětí na kontakt 4 připojí napětí na výstupní kontakt 1 a odpojí jej po uplynutí nastaveného času (v rozsahu 1 s až 20 h). Toto relé ke své činnosti nepotřebuje nulový vodič, ten je na svorkovnici vyveden jen pro případ budoucí výměny tohoto relé za jiný model.

Spínací impulsy pro časové relé přicházejí přes kontakty relé *REL2* (k jehož sepnutí dochází až při rozsvícení prvního světelného zdroje). Po aktivaci časovače je přivedeno napětí na kontakty relé *REL1*, jehož rozpínací kontakty odpojí relé *REL2*, aby do časovače nepřicházely další impulsy (režim *A*). Takto se bude panel chovat při přepínači *REZIM* ve výchozí poloze. Po přepnutí tohoto přepínače dojde k přemostění kontaktů relé *REL1* a do časovače bude přiveden impuls při každém dalším rozsvícení kteréhokoliv světelného zdroje (režim *B*).

Po vypršení času dojde k odpojení relé *REL1* a rozepne se obvod procházející všemi 21 paralelními bloky, což zajistí zhasnutí všech zdrojů.

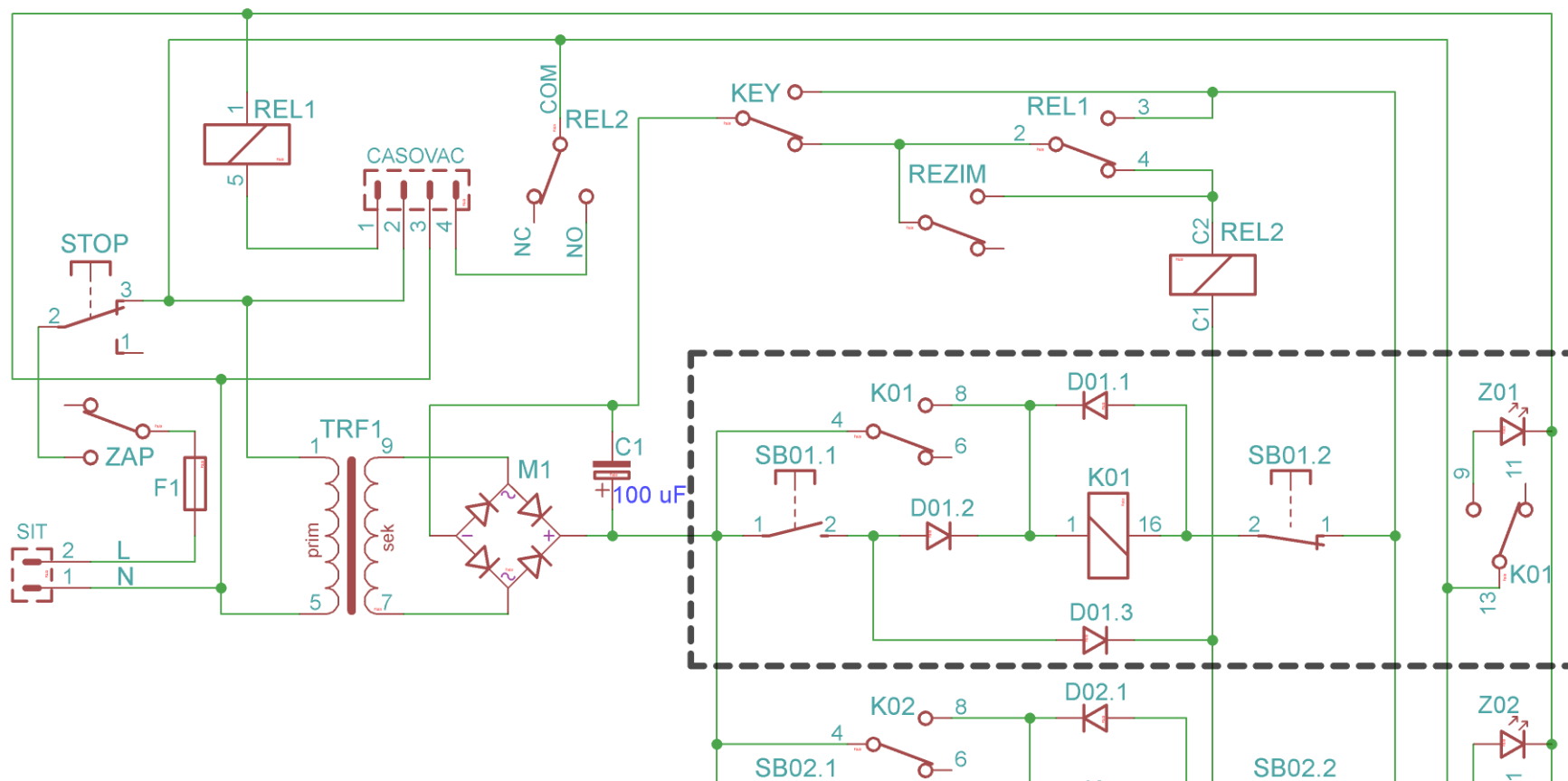
Bude-li použit klíč k přepnutí uzamykatelného přepínače *KEY*, bude časovač vyřazen z činnosti (odpojení *REL2*) a doba užívání panelu bude neomezená.

K samotnému rozsvícení zdroje  $Zx$  je nutno stisknout tlačítko *SBx.1*. Tím dojde k sepnutí relé  $Kx$ , jehož spínací kontakt 8 přemostí tlačítko *SBx.1* a kontakt 9 přivede k danému zdroji napětí.

Zhasnutí zdroje  $Zx$  je zajištěno prostým přerušením napájení relé  $Kx$ , ke kterému dojde stiskem tlačítka *SBx.2* s rozpínacími kontakty.

Relé *REL1* má 230V AC cívku, zatímco relé *REL2* a  $K01-K21$  skrývají DC cívku na napětí 24 V.

Obr. 3.1: Schéma zapojení panelu



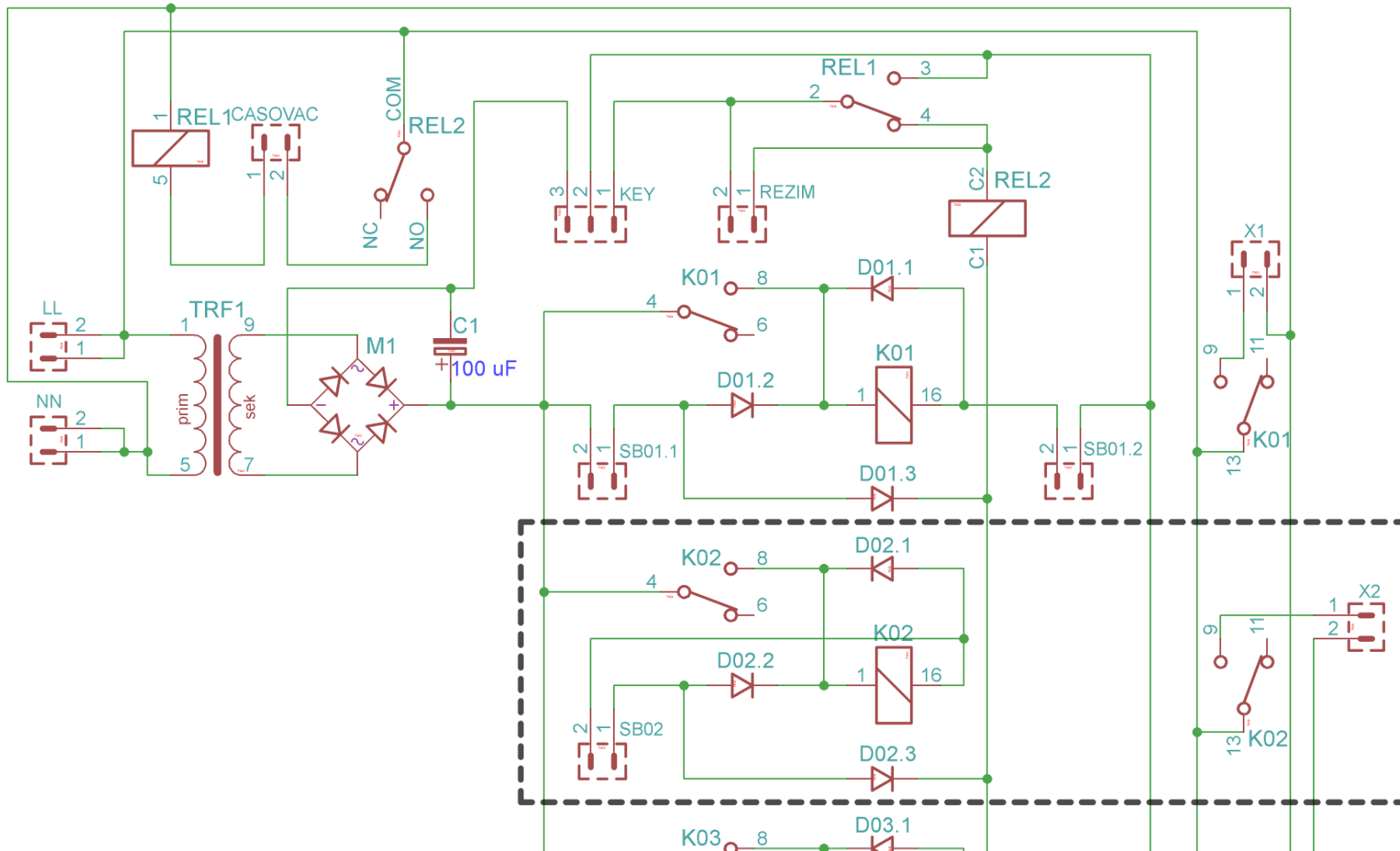
### 3.2.4.1 Úprava schématu pro výrobu DPS

Nejvýhodnější variantou (zejména finančně) je většinu elektroniky zabudovat do desek plošných spojů (DPS) a ty pak vložit dovnitř parapetních kanálů. Pro tyto potřeby je třeba uvedené schéma upravit tak, aby bylo možné všechny externí prvky (patice světelných zdrojů, spínací prvky, přívod napájení apod.) propojit s DPS. Toto propojení bude realizováno pomocí měděných vodičů a šroubovacích svorkovnic.

Pro velký počet součástek bylo celé schéma rozděleno na tři vzájemně propojené části (tedy tři desky).

Upravené schéma uvádí obr. 3.2. Na obrázku je opět černou přerušovanou čarou znázorněn blok, který se opakuje. Celé schéma je rozděleno na tři desky, které jsou spojeny paralelně pomocí tří dvojic konektorů ( $+24V$ ,  $-24V$  a  $L$ ). První deska (částečně vyobrazená na obr. 3.2) obsahuje napájecí část, konektory pro připojení časovače, uzamykatelného přepínače a přepínače režimu a umožňuje připojit tři světelné zdroje (včetně ovládacích prvků). Druhá deska obsahuje elektroniku pro spínání dalších deseti zdrojů, třetí deska potom ovládá zdrojů osm. Návrh je vytvořen tak, aby mohla první deska pracovat samostatně a umožňovala paralelní připojení dalších desek (pro teoreticky libovolný počet zdrojů), které je možné vytvořit analogicky.

Obr. 3.2: Upravené schéma pro DPS



Schéματα všech desek jsou ve zmenšené verzi uvedena v příloze A, v plné velikosti jsou pak obsažena na příloženém CD.

#### 3.2.4.2 Návrh rozložení DPS

Materiálem pro výrobu desek bude dvouvrstvý fotocitlivý cuprexit FR4 o síle mědi 35  $\mu\text{m}$ . Tento materiál má dle údajů výrobce tepelnou odolnost až 125 °C. Maximální teplota plošného spoje by však neměla překročit únosnou mez 80 °C [22]. Dalším omezením je maximální pracovní teplota jednotlivých komponent. V tomto ohledu je nejvíce limitující 24V relé, u kterého výrobce garantuje správnou funkčnost při teplotách do 80 °C.

Jako běžnou teplotu v laboratoři uvažují 25 °C. Maximální přípustné oteplení plošného spoje tedy stanovím na 45 °C.

V 230V větvi bude maximální proud 6 A dán hodnotou pojistky. Ve 24V části obvodu je nejvyšší možný proud, který je transformátor schopen dodat, roven 0,85 A.

Proudové zatížitelnosti o hodnotě 6 A odpovídá šířka spoje přibližně 1,1 mm, pro proud 0,85 A je třeba dimenzovat spoj přibližně na 0,2 mm [23].

Pro síťové napětí 230 V je zapotřebí zajistit izolační mezery (v případě lakovaného spoje) o šíři alespoň 0,6 mm, pro napětí 24 V postačí zhruba 0,08 mm [24], takové přesnosti však nelze dost dobře dosáhnout, proto bude uvažována pouze jedna (vyšší) minimální šířka.

Prostupy mezi jednotlivými stranami (vrstvami) desky se obvykle řeší pomocí prokovů, tedy chemicko-galvanického propojení dvou vrstev v průchozích otvorech. Technologii, která by toto umožňovala, bohužel nedisponuji já ani fakulta, budu tedy prokovy vytvářet oboustranným pájením kousku měděného drátu.

Každá deska byla v rozích opatřena montážními otvory o průměru 4 mm.

Hotový návrh jednotlivých desek je zahrnut v příloze B.

#### 3.2.4.3 Vodiče

Propojení jednotlivých komponent bude realizováno ohebnými měděnými vodiči (CYA).

Průřez vodičů se volí s ohledem na procházející proud a délku vodiče. Vodič se vlivem procházejícího proudu ohřívá a vznikající oteplení má vliv na mechanické vlastnosti vodiče (izolace rychleji stárne a znehodnocuje se) [25]. Délka vodiče ovlivňuje odpor vodiče a tím i úbytky napětí. Pro uvažované délky (nanejvýš jednotky metrů) lze toto hledisko zanedbat.

V tomto případě se však průřezy určí tak, aby vyhovovaly dovoleným zatěžovacím proudům dle normy. Pro silové vodiče (230V větve) vystačí průřez 1,0 mm<sup>2</sup>, pro ovládací (24V) větve pak průřez 0,5 mm<sup>2</sup> [26].

Barevné značení vodičů vychází opět z normy. Pro izolované vodiče jednofázových střídavých soustav nízkého napětí se užívá hnědé (případně černé) barvy pro fázový vodič (L), světle modré barvy pro nulový vodič (N) a ochranný vodič (PE) se značí kombinací

barev zelené a žluté. U stejnosměrného rozvodu se užije červené barvy pro kladný (+) pól a tmavě modré barvy pro záporný (–) pól [27] [28].

Výsledná volba průřezů a barev vodičů:

- CYA 1,0 mm<sup>2</sup> hnědý pro vodič L
- CYA 1,0 mm<sup>2</sup> světle modrý pro vodič N
- CYA 1,0 mm<sup>2</sup> zeleno-žlutý pro vodič PE
- CYA 0,5 mm<sup>2</sup> červený pro vodič +
- CYA 0,5 mm<sup>2</sup> tmavě modrý pro vodič –

### 3.2.5 Popisová karta

Na popisové kartě náležící ke každému zdroji bude uvedena značka a model zdroje, jeho světelné spektrum, diagram chromatičnosti a následující parametry:

- světelný tok
- jas
- příkon
- měrný výkon
- účinník
- teplota barvy
- index barevného podání
- trichromatické souřadnice

Popisová karta bude respektovat barevné provedení celého zařízení, text bude proto vytištěn bílým písmem na černém pozadí. Pro vyšší odolnost bude karta po vytištění zalaminována.

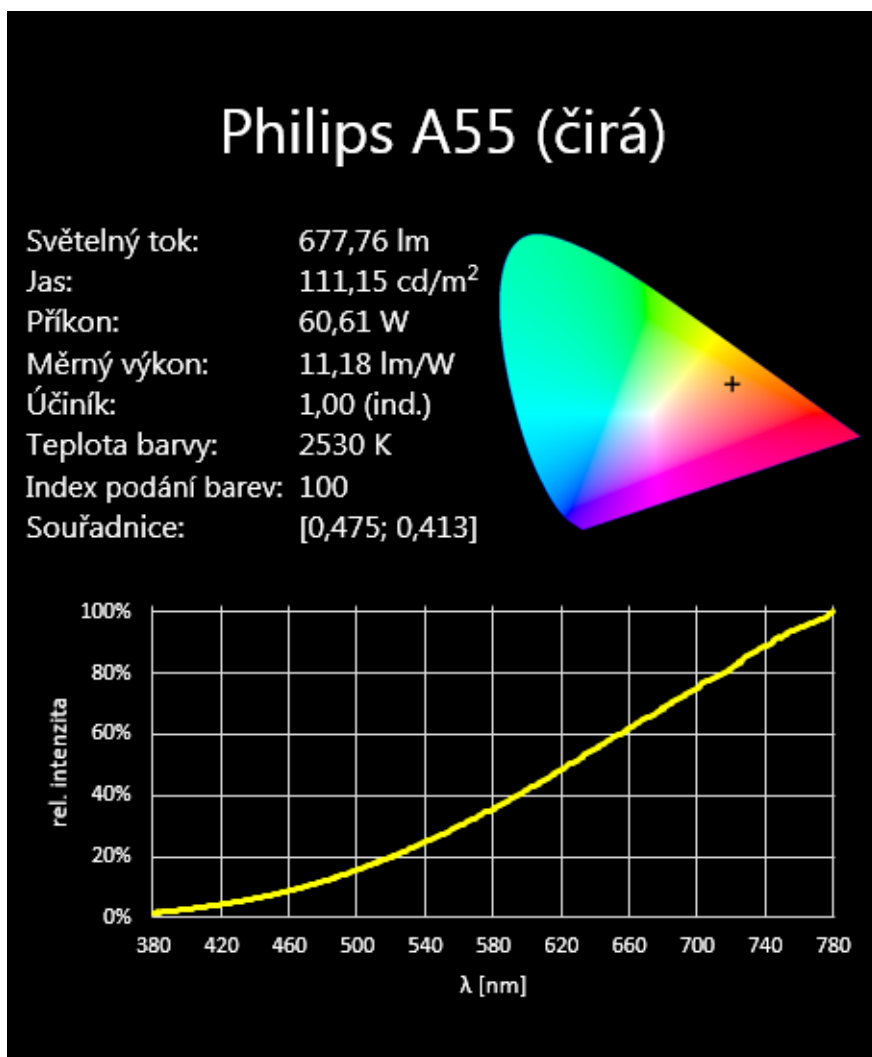
Výsledná podoba popisové karty je vyobrazena na obr. 3.3.

Pro možnost snazší náhrady jednotlivých zdrojů (a s tím související náhrady popisových karet) nebudou karty na kanály lepeny. Na kanály budou připevněny násuvné vázačí hřbety, užívané obvykle pro vazbu tištěných dokumentů. Bude třeba užít hřbety v černé barvě, a to takové, které pevně udrží i jeden list papíru. V těchto hřbetech mohou být karty snadno měněny.

### 3.2.6 Výsledná podoba panelu

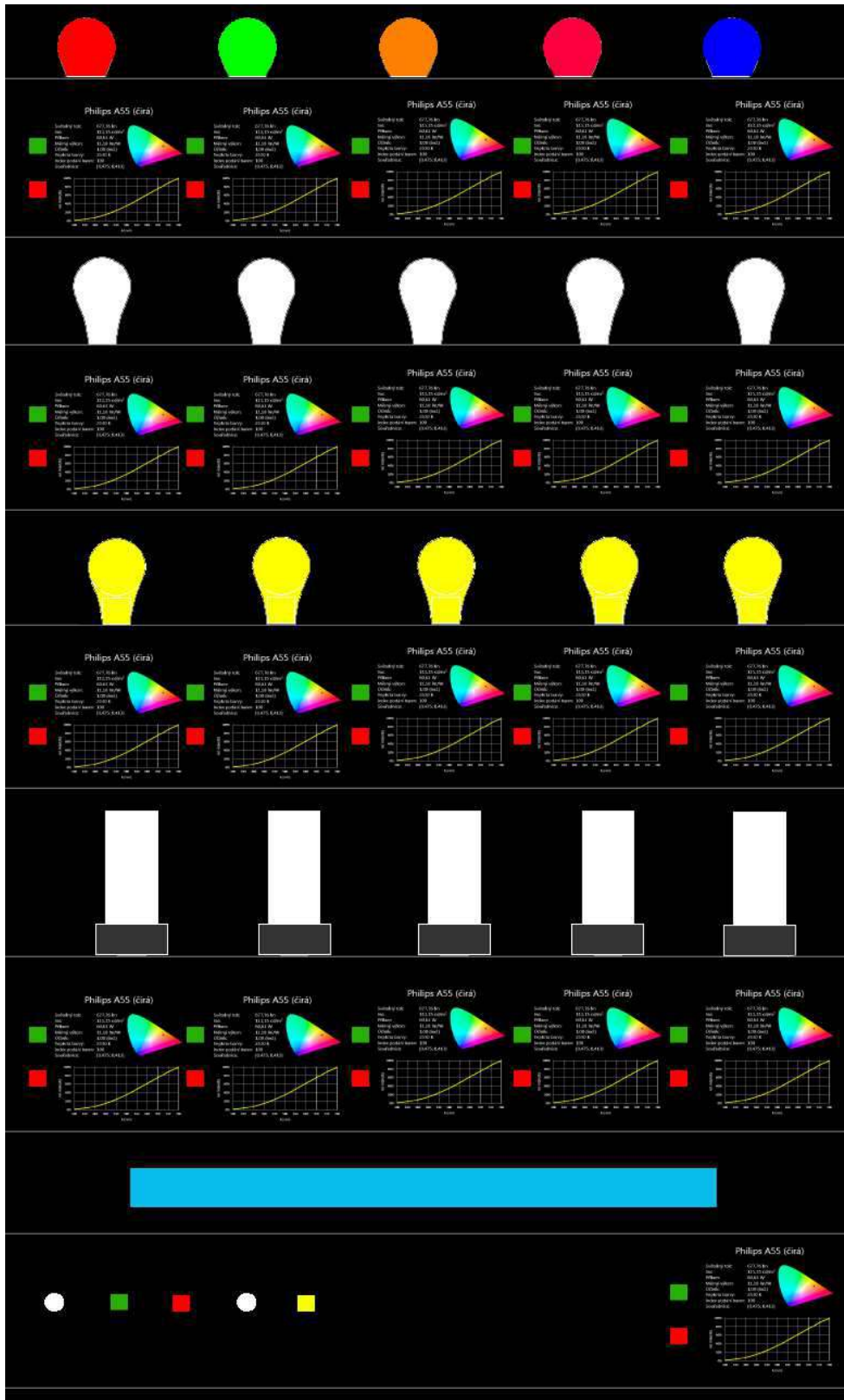
Náčrt navrhované podoby celého panelu včetně popisových karet je patrný z obr. 3.4.

Obr. 3.3: Popisová karta světelného zdroje



Zdroj: autor

Obr. 3.4: Náčrt výsledné podoby panelu



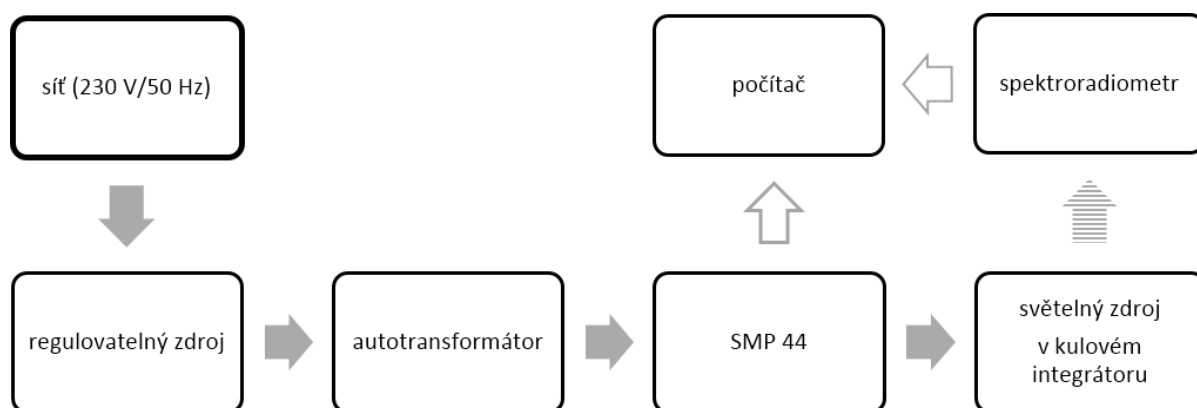
Zdroj: autor

## 4 MĚŘENÍ PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

### 4.1 Způsob měření

Všechna měření probíhala v laboratoři světelné techniky FEKT VUT v Brně za tmy. Schéma celého měřicího ústrojí znázorňuje obr. 4.1. Pro napájení světelného zdroje je použit regulovatelný digitální zdroj napětí, na jehož výstupu je zařazen autotransformátor pro zajištění přesnějšího napětí. Napětí dále prochází přes síťový analyzátor SMP 44 přímo do patice světelného zdroje, umístěné v kulovém integrátoru. Světelný zdroj snímá spektrometr, který odesílá data do počítače, kam zároveň proudí i informace ze síťového analyzátoru.

Obr. 4.1: Schéma měřicího ústrojí



Zdroj: autor

Pro měření elektrických parametrů byl využit univerzální analyzátor kvality elektrické energie SMP 44. Pomocí tohoto přístroje byly měřeny mj. hodnoty napětí, proudu, výkonu (a jeho složek), kmitočtu a účinníku. SMP 44 umožňuje provádět měření v trojfázové soustavě, při měření parametrů světelných zdrojů byla ale využita jen jedna fáze. Naměřená data byla pro další zpracování exportována do počítače.

Měření světelných parametrů (světelný tok, barevná teplota, vyzařované spektrum, index podání barev a trichromatické souřadnice) bylo provedeno pomocí spektrometru Konica Minolta CS-1000A, který rovněž přenáší data do počítače. Při měření je světelný zdroj umístěn v kulovém integrátoru. V integrátoru je umístěna žárovka se známým světelným tokem (referenční žárovka) zacloněná tak, aby světelný tok vycházející z této žárovky byl vždy odražen.

Ke zjištění světelného toku je třeba provést výpočet podle vztahu

$$\Phi = k_i \cdot L, \quad (4.1)$$

kde  $k_i$  je konstanta kulového integrátoru závislá na umístění měřicího přístroje. V době měření měla tato konstanta hodnotu  $6,097707 \text{ lm} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{cd}^{-1}$ .

## 4.2 Výsledky měření

Měření bylo provedeno u těchto zdrojů:

### klasické žárovky

A – Philips A55 (čirá)

B – Philips A55 (matná)

### barevné žárovky

C – žárovka oranžová

D – žárovka žlutá

E – žárovka modrá

F – žárovka červená

### halogenové žárovky

G – NBB Classic ES A55

H – Philips Eco Classic

### kompaktní zářivky

I – Osram Duluxstar

J – Osram Duluxstar mini twist

### lineární zářivka

K – Osram T8

### LED zdroje

L – Osram CLA 75 M2

M – Tesla BL276527-1

N – Philips MyAmbiance

O – Osram Parathom (teplá bílá)

P – Osram Parathom (studená bílá)

Q – Panasonic CMT

R – Panasonic Nostalgic clear

Tabulky 4.1 a 4.2 uvádí přehled naměřených hodnot nejdůležitějších parametrů výše uvedených zdrojů. Podrobná data z měření jsou k dispozici na příloženém CD.

Tab. 4.1: Změřené hodnoty parametrů zdrojů A–K v ustáleném stavu

	klasické žárovky		barevné žárovky				hal. žárovky		kompaktní zářivky		lin. zářivka
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
<b>L</b> [ $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	111,150	110,740	11,340	24,680	0,780	0,160	75,570	321,040	209,510	224,580	526,260
<b><math>\eta</math></b> [ $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	11,182	11,286	2,872	6,205	0,196	0,041	11,542	17,946	64,795	70,516	72,310
<b><math>\Phi</math></b> [ $\text{lm}$ ]	677,760	675,260	69,148	150,491	4,756	0,976	460,804	1957,608	1277,531	1369,423	3208,900
<b>X</b>	127,660	127,480	17,170	29,430	0,650	0,390	86,420	358,620	235,840	249,680	532,730
<b>Y</b>	111,150	110,740	11,340	24,680	0,780	0,160	75,570	321,040	209,510	224,580	526,260
<b>Z</b>	30,180	29,120	0,200	1,870	1,340	0,010	21,550	103,800	53,890	60,020	299,340
<b>x</b>	0,475	0,477	0,598	0,526	0,233	0,697	0,471	0,458	0,472	0,467	0,392
<b>y</b>	0,413	0,414	0,395	0,441	0,283	0,289	0,412	0,410	0,420	0,420	0,387
<b>T</b> [ $\text{K}$ ]	2530	2510	—	—	19435	—	2566	2728	2611	2683	3777
<b>duv</b>	0,001	0,002	—	—	0,030	—	0,001	0,000	0,003	0,004	0,002
<b>R<sub>a</sub></b> [–]	100	100	—	—	48	—	99	100	82	81	83
<b>U</b> [ $\text{V}$ ]	229,7	230,2	229,7	230,4	230,2	230,3	229,9	229,8	230,3	230,1	230,9
<b>I</b> [ $\text{A}$ ]	0,264	0,260	0,104	0,105	0,105	0,104	0,173	0,475	0,143	0,146	0,415
<b>P</b> [ $\text{W}$ ]	60,613	59,831	24,074	24,253	24,210	23,981	39,923	109,081	19,717	19,420	44,376
<b>Q</b> [ $\text{VAr}$ ]	1,648	1,565	0,433	0,436	0,433	0,428	0,912	3,113	-8,197	-9,308	84,442
<b>S</b> [ $\text{VA}$ ]	60,642	59,859	24,094	24,273	24,229	24,000	39,943	109,130	33,010	33,775	96,004
<b>PF</b> [–]	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	0,597	0,575	0,462
<b>cos (<math>\varphi</math>)</b> [–]	1,000L	1,000L	1,000L	1,000L	1,000L	1,000L	1,000L	1,000L	0,916C	0,893C	0,466L

Tab. 4.2: Změřené hodnoty parametrů zdrojů L–R v ustáleném stavu

	LED zdroje						
	L	M	N	O	P	Q	R
<b>L</b> [ $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ]	166,870	98,770	146,590	18,720	18,300	20,090	126,700
$\eta$ [ $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	78,550	94,036	70,582	61,737	53,716	56,953	79,295
$\Phi$ [ $\text{lm}$ ]	1017,524	602,271	893,863	114,149	111,588	122,503	772,579
<b>X</b>	190,180	115,410	167,570	20,480	17,120	19,780	144,370
<b>Y</b>	166,870	98,770	146,590	18,720	18,300	20,090	126,700
<b>Z</b>	53,160	37,720	43,450	5,540	13,170	19,010	38,070
<b>x</b>	0,464	0,458	0,469	0,458	0,352	0,336	0,467
<b>y</b>	0,407	0,392	0,410	0,418	0,377	0,341	0,410
<b>T</b> [ <b>K</b> ]	2623	2569	2581	2796	4844	5343	2602
<b>duv</b>	-0,001	-0,006	0,000	0,004	0,009	-0,002	0,000
<b>R<sub>a</sub></b> [-]	83	79	81	64	69	76	80
<b>U</b> [ <b>V</b> ]	230,0	230,0	229,5	230,2	229,5	230,3	230,0
<b>I</b> [ <b>A</b> ]	0,058	0,055	0,065	0,019	0,020	0,021	0,073
<b>P</b> [ <b>W</b> ]	12,954	6,405	12,664	1,849	2,077	2,151	9,743
<b>Q</b> [ <b>VAr</b> ]	-2,429	-8,878	-0,303	-0,159	-0,172	-0,179	-3,504
<b>S</b> [ <b>VA</b> ]	13,385	12,595	14,965	4,342	4,726	4,963	16,797
<b>PF</b> [-]	0,968	0,509	0,846	0,426	0,440	0,433	0,580
<b>cos</b> ( $\varphi$ ) [-]	0,983C	0,595C	0,999C	0,993C	0,994C	0,993C	0,931C

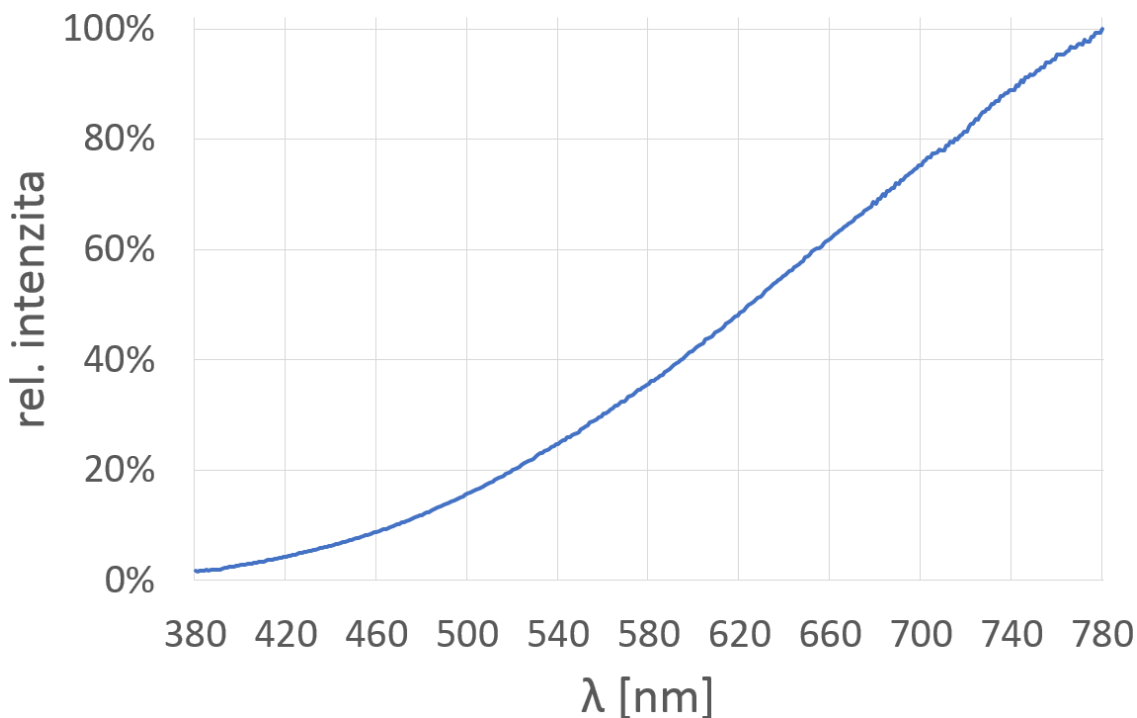
Tabulky uvádí hodnoty parametrů v ustáleném stavu, který u různých zdrojů nastal po různé době – zatímco u některých zdrojů se jednalo o jednotky minut (např. klasické žárovky), některá měření probíhala téměř dvě hodiny (např. LED zdroje).

## 4.3 Vyhodnocení výsledků měření

### 4.3.1 Světelné spektrum

Spektra jednotlivých světelných zdrojů jsou navzájem velmi odlišná. Klasická žárovka má spektrum spojité, kde dominují vyšší vlnové délky (viz obr. 4.2).

Obr. 4.2: Změřené světelné spektrum zdroje A



Čárový charakter spektra mají zářivky (viz obr. 4.3). Výsledná barva je složena z několika čar na daných vlnových délkách. Použitým luminoforem lze výrazně ovlivnit intenzitu a počet těchto čar.

LED zdroje vykazují spektrum, jež se skládá ze dvou oblastí. První oblast je charakterizována modrou barvou, zatímco oblast druhá (obvykle významnější) se nachází u teplejších odstínů barvy. Výsledný charakter světla (teplota chromatičnosti) je dán oběma těmito oblastmi (viz obr. 4.4).

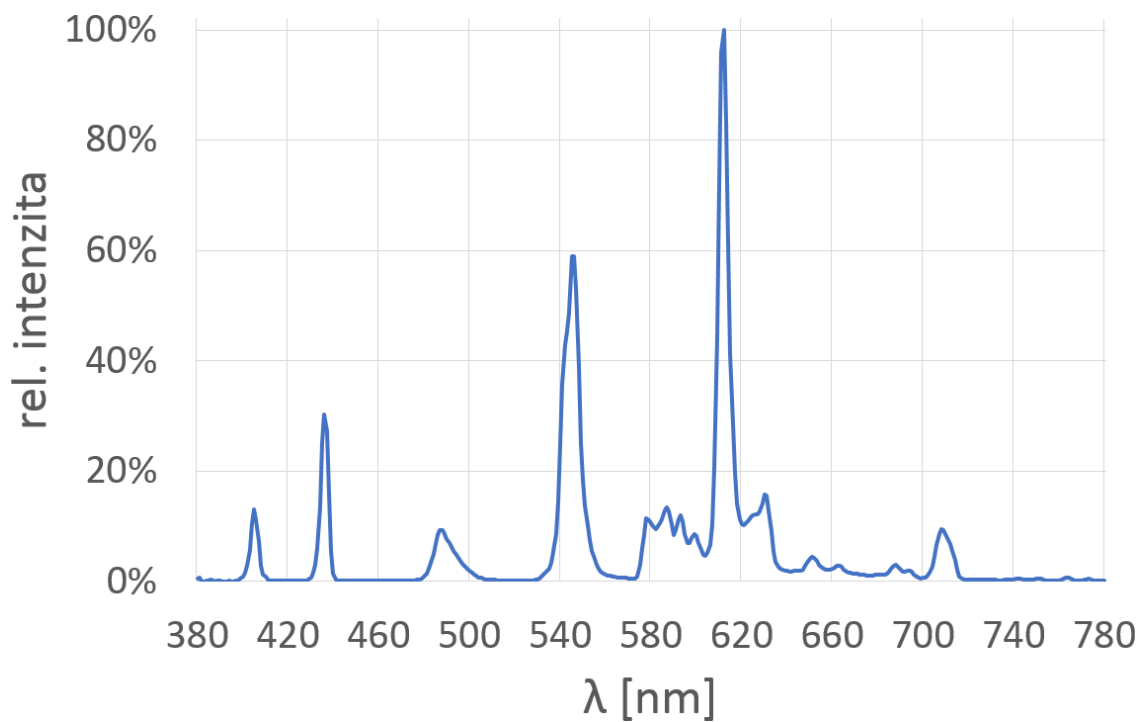
Světelná spektra ostatních zdrojů jsou uvedena v příloze ??.

### 4.3.2 Světelný tok

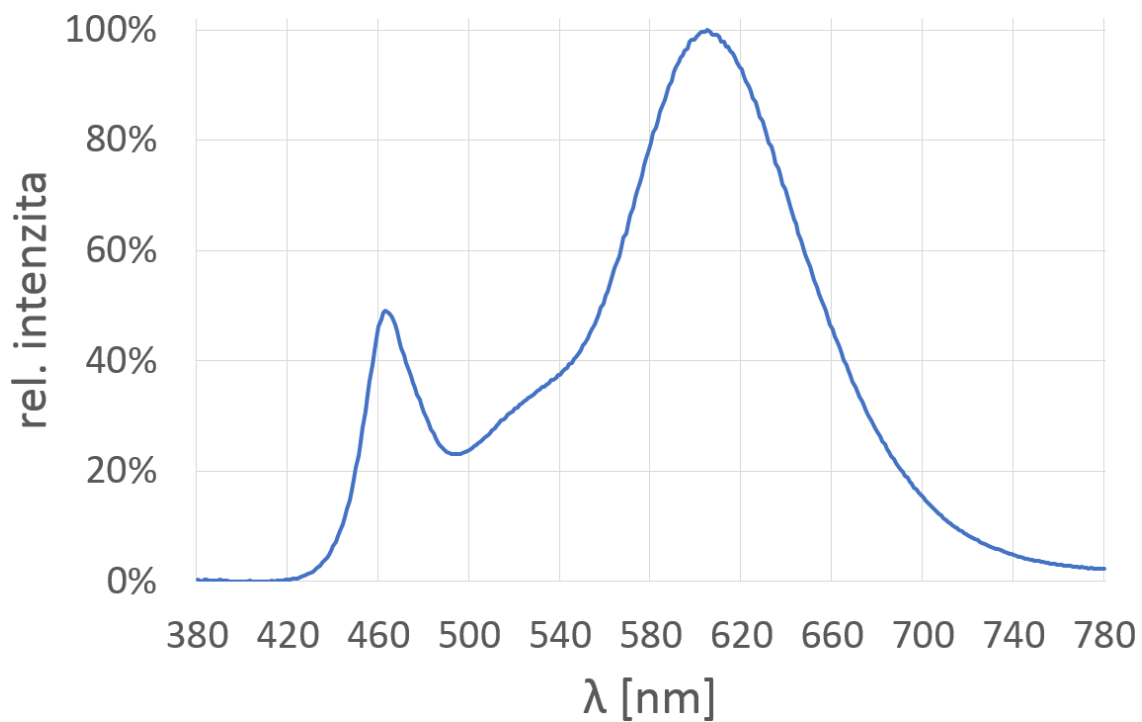
Světelný tok se podle očekávání u jednotlivých zdrojů výrazně liší zejména v závislosti na jejich výkonu. Je evidentní, že často diskutované LED zdroje jsou z hlediska světelného toku schopny zcela zastoupit klasické žárovky. Z vybraných světelných zdrojů vykazuje nejvyšší hodnotu světelného toku lineární zářivka a nejnižších hodnot dosahují barevné žárovky, což rovněž odpovídá předpokladu.

U jednotlivých zdrojů se však světelný tok velmi mění v čase, než dojde k ustálenému stavu. Zatímco u obyčejných žárovek prakticky nedochází ke změnám toku, kompaktní zářivky vykazují velké rozdíly a trvá několik minut, než se jejich světelný tok ustálí na nějaké konstantní hodnotě. LED zdroje netrpí takovými výkyvy jako zářivky, po připojení napájení dosáhnou v řádu několika sekund svého maximálního světelného toku, který

Obr. 4.3: Změřené světelné spektrum zdroje I



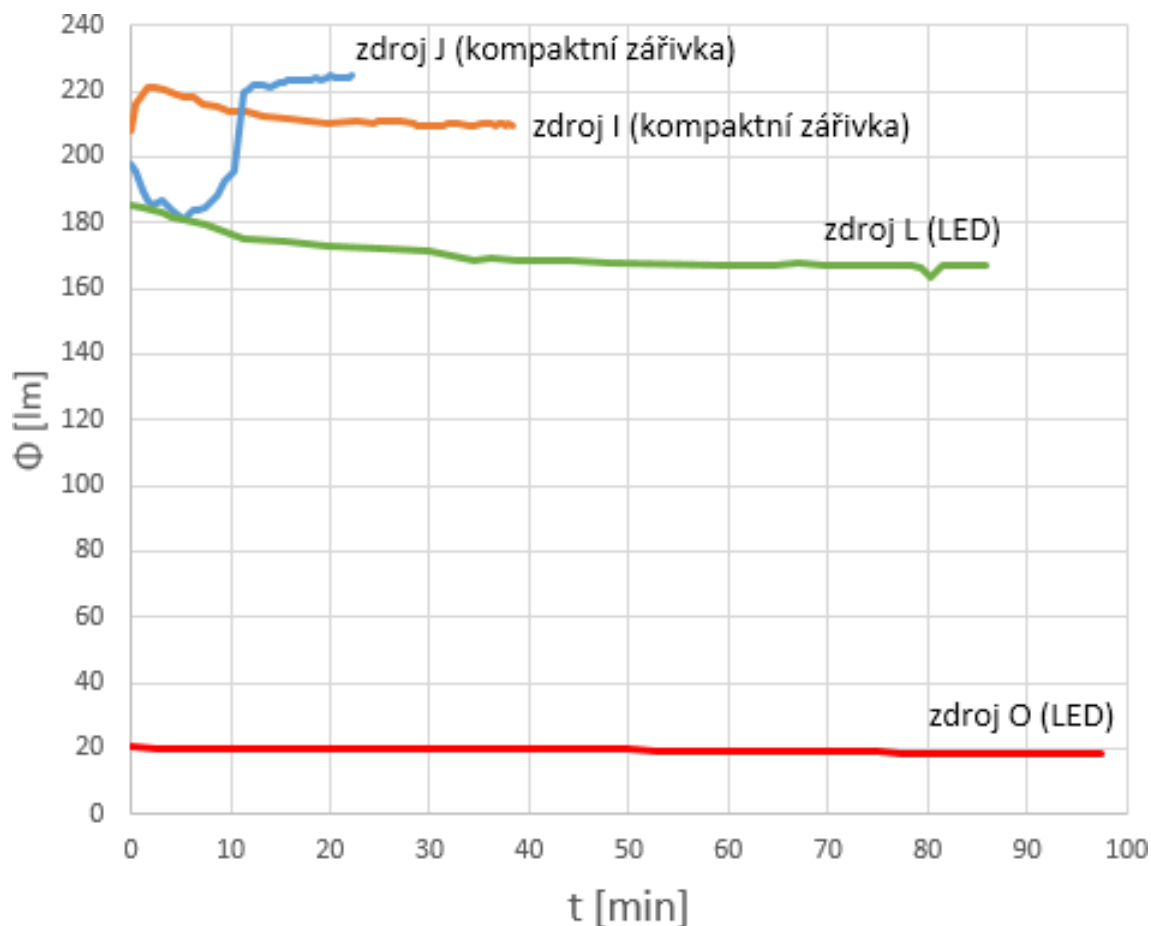
Obr. 4.4: Změřené světelné spektrum zdroje M



poté postupně (nelineárně) klesá a ustálí se po relativně dlouhé době (i po hodině). Je to zapříčiněno především vlivem rostoucí teploty LED [3].

Srovnání časového průběhu světelného toku u některých zdrojů je zřejmé z obr. 4.5.

Obr. 4.5: Časový průběh světelného toku některých zdrojů



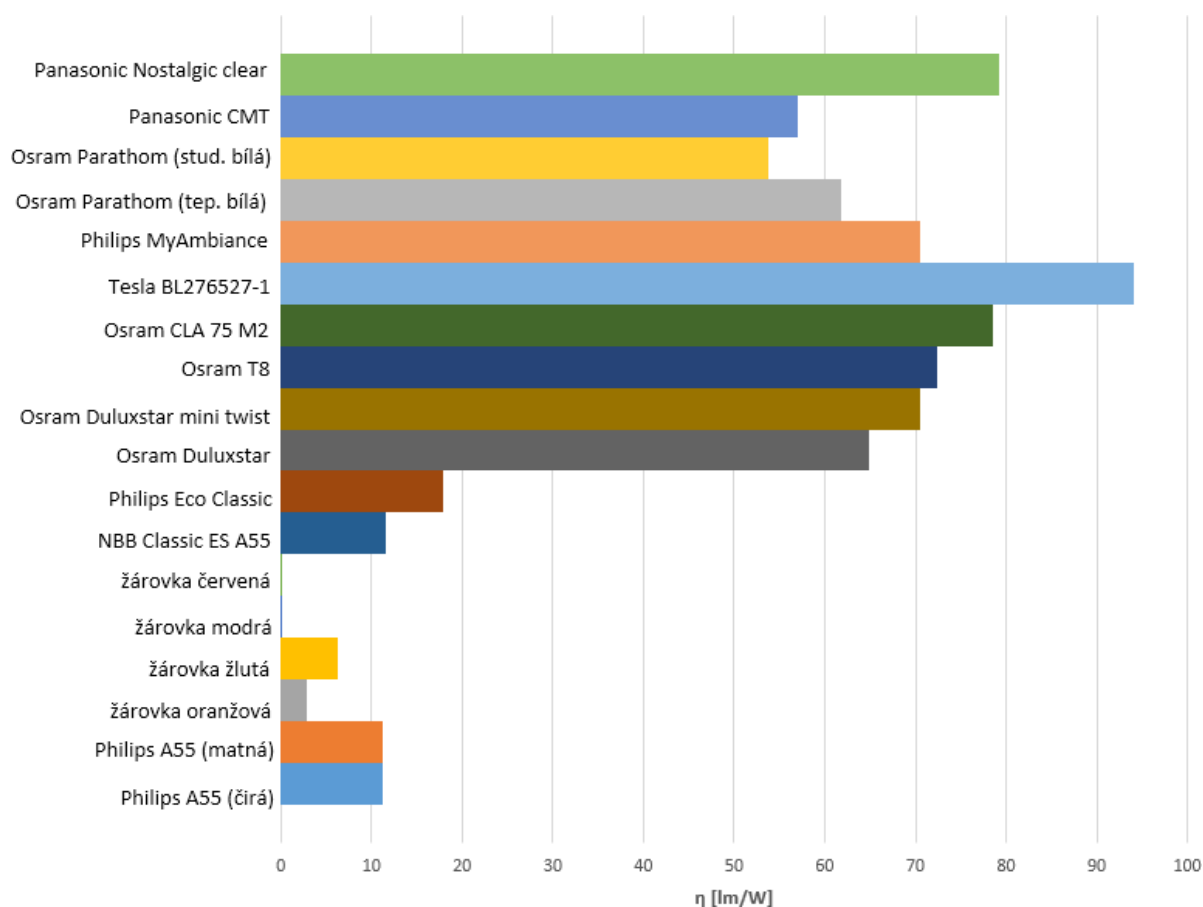
Zdroj: autor

Z uvedených průběhů je evidentní, že kompaktní zářivky nejsou vhodné pro krátkodobé osvětlování.

### 4.3.3 Měrný výkon

Obr. 4.6 uvádí srovnání měrného výkonu u měřených zdrojů. Nejnížší hodnoty byly naměřeny u žárovek, nejvyšší hodnoty naopak vykazují LED zdroje, což potvrzuje teoretické předpoklady.

Obr. 4.6: Srovnání měrného výkonu světelných zdrojů



Zdroj: autor

#### 4.3.4 Účinník

Měření jasně potvrdilo předpovídané hodnoty, kdy žárovky vykazují účinník 1,00 (ind.), naopak LED zdroje pracují s účinníkem mnohdy nižším a kapacitního charakteru. Relativně horší účinník byl naměřen i u zářivkové trubice, u které je však nutno dodat, že běžné zapojení tohoto zdroje obsahuje kompenzační kondenzátor (viz obr. 2.5).

#### 4.3.5 Index podání barev

Z tabulek 4.1 a 4.2 je patrné, že klasické žárovky mají index podání barev  $R_a = 100$ . Na druhou stranu zářivky, a zejména LED zdroje často nedosahují ani hodnoty  $R_a = 80$ . Právě hodnota 80 je minimální doporučenou hodnotou pro místa určená pro psaní nebo čtení, školní učebny, prodejní prostory a další [3].

## 5 POSTUP PRÁCE

### 5.1 Výroba DPS

Všechny desky byly zhotoveny pozitivní fotocestou. Ta předpokládá využití fotocitlivého cuprexitu (materiálu s naneseným fotocitlivým lakem), který bude přes filmovou předlohu osvícen UV zářením. Následně je třeba desku vyvolat v roztoku NaOH (vývojka) – krycí lak na osvícených místech se odplaví a zbude vyvolaný obrazec. Poté se za použití  $\text{FeCl}_3$  deska leptá, tím dojde k odstranění přebytečných ploch mědi. V této fázi je deska v podstatě hotová, zbývají už jen finální úpravy a vrtání.

#### 5.1.1 Příprava matrice a výroba předlohy

Matricí se rozumí šablona pro osvit DPS. Pro dosažení nejlepších výsledků byla použita černobílá varianta; v případě pozitivní fotocesty to znamená, že černá místa (kde nedojde k osvitu) budou měděné plochy, zatímco zbylá (bílá, tedy ve výsledku průsvitná) místa budou odleptána pomocí NaOH [29].

Matrice vznikly skrytím „neměděných“ vrstev (popisy, pomocné čáry, značky) a transformací do odstínů šedi. Matrice spodních stran desek bylo ještě třeba zrcadlit, aby otvory odpovídaly protějším (horním) stranám. Vzhled finálních matic je zobrazen na obrázcích v příloze na CD, kde jsou oproti předchozím obrázkům již zobrazeny i polygony (měděné výplně).

Druhů předloh lze použít více (film, fólie, pauzovací papír...), já jsem využil obyčejný kancelářský papír. Problémem tohoto papíru je poměrně nízká průsvitnost, proto bylo třeba po vytisknutí maticí laserovou tiskárnou využít zprůhledňující sprej (Transparent 21).

#### 5.1.2 Osvit desek

Před samotným osvitom bylo zapotřebí desky upravit na požadovaný rozměr, a to pákovými nůžkami. Rozměry desek jsou:

- 178 × 64 mm
- 193 × 64 mm
- 159 × 64 mm

Následně bylo nutné srazit hrany desek smirkovým papírem a poté desky očistit. K tomu stačil technický líc.

Poté přichází na řadu osvětlení desek UV lampou postupně z jedné a druhé strany. Je však důležité, aby při osvitu byly přiloženy předlohy z obou stran a aby se vůči sobě a vůči deskám neposouvaly.

UV lampu jsem vyrobil z rtuťové výbojky, ze které bylo třeba odřezat skleněnou baňku (kvůli luminoforu), a tlumivky. Dobu osvitu a vzdálenost lampy od desky jsem určil experimentálně a zvolil 5minutový osvit každé strany desky ze vzdálenosti přibližně 20 cm.

### 5.1.3 Vyvolávání

Z důvodu nyní nežádoucích vlastností spreje Transparent 21 (odpuzuje roztok vývojky) bylo třeba desky po osvětlení omýt vodou. Poté jsem desky (po jedné) ponořil do roztoku NaOH tak, aby pod, resp. nad každou stranou desky byla zhruba centimetrová vrstva. Vyvolání jedné desky trvalo přibližně dvě minuty.

### 5.1.4 Leptání

Po vyvolání byly desky osušeny, aby se neznečistoval leptací roztok, a z jedné strany na ně byla nalepena průhledná folie. Nezalepenou stranou se potom pokládaly na hladinu leptací lázně ohřáté na teplotu přibližně 50 °C [29] tak, aby mezi deskou a hladinou nezůstaly vzduchové bubliny.

Leptání trvalo zhruba deset minut, poté se deska osušila, sejmula se folie, nalepila se na právě vyleptanou stranu a celý proces se opakoval s druhou stranou desky.

### 5.1.5 Finální úpravy

Vyleptané desky bylo třeba pečlivě omýt a očistit. Následně se nanese pájitelný lak, aby se zabránilo oxidaci mědi [29].

### 5.1.6 Vrtání

Po vytvrzení laku přišlo na řadu vrtání otvorů. Pro dosažení dostatečně přesného výsledku bylo zapotřebí využít stojanovou vrtačku. Otáčky jsem stanovil opět experimentálně na 6000/min.

### 5.1.7 Výroba prokůvů a osazování desek

K pájení jsem využil olovnatou pájku (Sn60Pb40) o průměru drátu 1 mm a pájecí pastu. Pájení bylo prováděno pomocí kombinované pájecí/odpájecí stanice ZD-917 s teplotou hrotu 350 °C.

Před samotným pájením byla vždy daná plocha potřena pájecí pastou a po pájení byly její zbytky opět odstraněny (technickým lihem).

Nejprve byly vytvořeny improvizované prokovy, a to připájením krátkého kusu měděného drátu z obou stran daného otvoru. Po vytvoření a proměření všech prokovů přichází na řadu součástky.

Součástky se osazují v takovém pořadí, aby již osazené co nejméně překážely právě osazovaným. Z toho důvodu byly jako první osazovány diody (některé se musely pájet z obou stran), následně ostatní malé součástky (kondenzátor, Graetzův můstek, konektory) a jako poslední byla osazena relé a transformátor.

Je-li pájení dokončeno, naposledy se deska očistí a vizuálně zkontroluje na kazy, studené a nedokonalé spoje a viditelná poškození. Pokud je vše v pořádku, výroba desek je u konce.

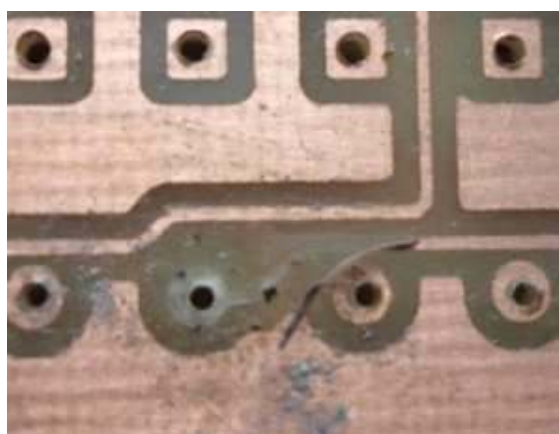
### 5.1.8 Problémy při výrobě

Výrobu desek provázelo mnoho problémů většinou způsobených nedostatkem mých zkušeností s tímto procesem. Zpočátku se nedařilo osvitit desky tak, aby na matricích obou stran souhlasily otvory. K fixaci předloh jsem po několika neúspěšných pokusech použil obyčejné kolíky užívané při věšení prádla.

Dalším úskalím při výrobě bylo leptání. Potřeboval jsem několik pokusů „nanečisto“, abych zjistil, jaká je optimální doba leptání. Následně jsem dvě desky zkazil, než jsem přišel na správný (výše popsáný) způsob, jak leptat oboustranné desky.

První série vyrobených desek byla nepoužitelná, protože nebyl nanesen ochranný lak a desky byly nesprávně očištěny. Z těchto důvodů došlo k výrazné oxidaci a narušení měděné vrstvy, jak je patrné z fotografie na obr. 5.1.

Obr. 5.1: Detail kazu na první vyrobené DPS



Zdroj: autor

Zcela funkční a bezproblémové desky se podařilo vyrobit až po několika hodinách neúspěšného snažení.

## 5.2 Příprava parapetních kanálů

Parapetní kanály je zapotřebí upravit na potřebnou délku, tedy 80 cm. K tomu jsem použil běžnou pilu na železu s tím, že hrany bylo následně třeba srazit nožem. Poté byly vrtány otvory pro objímky. Otvory o průměru 45 mm byly vrtány pomocí nastavitelného vykružovacího vrtáku na stojanové vrtačce.

Samotné objímky nejsou uchyceny k parapetnímu kanálu přímo, ale přes hliníkový L profil (10 × 10 mm), do kterého jsou navrtány otvory a objímky jsou k němu přišroubovány pomocí šroubů.

Před další manipulací bylo třeba provést nástřik. Proto jsem kanály (včetně víček) očistil lihem a nastříkal základovou barvou. Po jejím vytvrzení jsem provedl postupně dva nástřiky černou barvou.

Po úplném zaschnutí nástřiku byly do kanálů a vík vrtány otvory pro všechna tlačítka a ostatní prvky. Poté byly na kanály nalepeny lišty pro uchycení popisových karet se změřenými parametry jednotlivých zdrojů.

## 5.3 Příprava skříně

Jednotlivé desky z 10 mm silného pěněného PVC byly nejprve očištěny lihem a byl proveden se nástřik stejným způsobem jako v případě parapetních kanálů.

Všechny díly skříně jsem k sobě připevnil výrobcem dodaným lepidlem a krátkými vruty. Dvířka jsem ke skříni připevnil pomocí závěsů (pantů), opatřil je úchytkami a proti samovolnému otvírání zajistil připevněním magnetů.

Na závěr jsem k zadní stěně panelu připevnil úchyty umožňující zavěšení panelu na zeď a na levé straně dole jsem vyvrtal otvor pro vývodku (M16), kterou bude procházet přívodní kabel. Do vyvrtaného otvoru jsem následně vyřezal závit.

## 5.4 Sestavení celého zařízení

Do spodního kanálu byla vložena krátká DIN lišta, na kterou byly připevněny řadové svorky pro spojování vodičů.

Jednotlivé DPS byly v kanálech upevněny tak, aby zůstal dostatek prostoru pro manipulaci s vodiči.

Kanály se ke skříni připevnilly pomocí šroubů a vždy v levé části kanálů se vyvrtaly otvory pro vstup a výstup vodičů.

Patice pro lineární zářivku byly namontovány na spodní parapetní kanál. Zapojení bylo provedeno podle schématu na obr. 2.5 s tím, že nebyly použity kondenzátory, pouze tlumivka a startér, které byly připevněny dovnitř spodního kanálu.

Do připravených otvorů byly vloženy spínače a další prvky, poté se vše propojilo vodiči podle schématu a byl připojen časový spínač.

## 5.5 Výsledek

Po oživení a funkční zkoušce zařízení bylo zjištěno, že v režimu bez použití klíče zařízení nefunguje tak, jak by mělo. Světelné zdroje se nespínají nebo okamžitě (samovolně) zhasnou. Toto chybné chování se projevilo již při testování v rámci ověřování správnosti schématu. Proměření ukázalo na chybu v časovém spínači, který okamžitě připojí na výstup napětí (bez spínacího vstupního impulsu). Časovač byl proto reklamován (ještě před zahájením konstrukce panelu) a v rámci reklamace odeslán výrobcí k opravě. Po vrácení z reklamace časovač vykazoval naprosto stejné chování. Po třetí reklamaci (která vždy probíhala odesláním zboží k opravě, což vedlo k velkým časovým prodlevám) zaslal výrobce vyjádření, ve kterém je uvedeno, že se nejedná o chybu, nýbrž vlastnost, a navrhl připojit na výstup časovače odpor o hodnotě 27–33 k $\Omega$ , čímž by mělo dojít k nápravě. Vyzkoušel jsem tedy odpor o hodnotě 33 k $\Omega$ , ale na chování časovače se nic nezměnilo. Ke změně nevedlo ani použití 27k $\Omega$  odporu.

Pokusil jsem se najít alternativu k časovači od firmy Elektrobock CZ. Nabízelo se „SMR-T“ (super-multifunkční relé) od firmy Elko EP, k tomu však lze připojit maximální zátěž 100 VA. Vyrábí se ovšem i výkonnější varianta s názvem „SMR-B“, která dokáže spínat zátěž o hodnotách přes 3 kVA. Po vyzkoušení tohoto relé jsem zjistil, že bohužel nenabízí potřebný režim fungování.

Řešením tohoto problému by mohlo být vytvoření vlastního obvodu časovače např. za použití obvodu 555. Tuto možnost přibližuji v příloze E, z časových důvodů však již nejsem schopen toto řešení realizovat a panel tak bude bohužel fungovat pouze v režimu bez časovače.

Hotový výrobek je zachycen na fotografii na obrázku 5.2.

## 5.6 Dodatečné úpravy

Při převozu panelu praskla obě křídla dvířek. Po konzultaci s dodavatelem plastových desek vyšlo najevo, že desky pro dvířka byly vyřezány z jiné série desek než ostatní objednaný materiál a že tato série byla vadná. V rámci reklamace byly dodány desky nové, tyto však nebyly nařezány s dostatečnou přesností (dodavatel uvádí toleranci 3 mm). Aby

Obr. 5.2: Fotografie hotového panelu



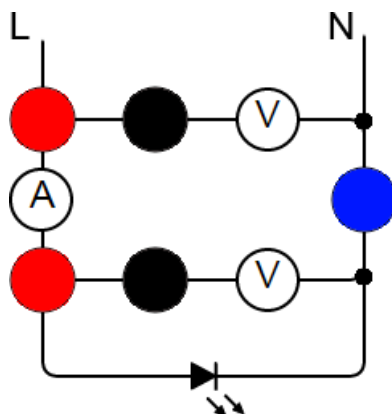
Zdroj: autor

dvířka nedrhlá, bylo třeba je zkrátit přímočarou pilou. Zároveň bylo třeba znovu provést všechny úpravy (nástřík, montáž pantů, úchytek a magnetů).

Mimo to se ukázalo, že se dvířka příliš prohýbají, bylo tedy zapotřebí je vyztužit pomocí hliníkového L profilu (10 × 10 mm) a přidat třetí lamelový pant doprostřed dvířek.

Dodatečně byl panel opatřen svorkami pro měření proudu a napětí. Napětí je možno měřit před i za připojeným ampermetrem. Byla vyvedena rovněž i svorka PE (pro případ potřeby). Tyto svorky byly umístěny na spodní kanál. Zapojení měřicích přístrojů do obvodu pomocí těchto svorek ukazuje obr. 5.3. Vedle těchto svorek byl umístěn kolébkový přepínač, který slouží k aktivaci režimu měření. Je-li spínač v poloze vypnuto (kolébka dole), svorky pro měření proudu jsou zkratovány a proud prochází i bez připojeného měřicího přístroje.

Obr. 5.3: Připojení měřicích přístrojů k panelu



Zdroj: autor

Na závěr bylo třeba opravit vrstvu černého laku na všech místech, kde byl při manipulaci sedřen.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout konstrukci interaktivního panelu se světelnými zdroji, popsat jeho vnitřní zapojení a následně panel sestrojít podle vypracovaného návrhu. Dále bylo požadováno změřit parametry jednotlivých světelných zdrojů a prezentovat výsledky tohoto měření na samotném panelu.

V rámci návrhu byly zohledněny zadané požadavky a vzešel návrh popisující materiály, provedení a funkčnost celého zařízení. Rovněž bylo vypracováno schéma zapojení elektrické části panelu, jehož mírnou úpravou bylo umožněno navrhnout desky plošných spojů, které slouží pro řízení chodu celého panelu.

Pro prezentaci výsledků měření parametrů světelných zdrojů byl zpracován návrh popisových karet, jež jsou umístěny přímo na panelu pod každým jednotlivým zdrojem.

Podle předloženého návrhu byl panel úspěšně zkonstruován (postup konstrukce je také zaznamenán), nicméně vznikla potřeba provést některé dodatečné úpravy, s nimiž se v návrhu nepočítalo (tyto jsou rovněž zaznamenány), a nepodařilo se zprovoznit jeden z požadovaných režimů fungování panelu z důvodu vadné součástky. Řešení problému je navrženo, pro nedostatek času však nebylo implementováno.

Měřené parametry světelných zdrojů nabývají očekávaných hodnot a potvrzují popsané vlastnosti zdrojů. Prostřednictvím popisových karet jsou tyto parametry na panelu prezentovány.

Při práci jsem postupoval samostatně a často kladl důraz na vlastní řešení, což v některých případech vedlo k různým komplikacím, a bylo tedy nutné postupovat jinak. Zároveň mi tím ale bylo umožněno seznámit se s několika přístupy ke konkrétnímu problému a zvolit ten nejvhodnější.

Výsledkem celé práce je interaktivní panel s 21 světelnými zdroji vyrobený z nehořlavých materiálů. Tento panel umožňuje jednotlivé zdroje libovolně rozsvěcovat a zase zhasínat, měřit jejich parametry (světelné i elektrické) apod. Světelné zdroje lze snadno měnit díky jejich umístění do patič E27. Zároveň panel prezentuje prostřednictvím popisových karet změřené parametry těchto zdrojů. Navíc je panel celý v černé barvě s možností uzavření dvířky, a nebude tedy ovlivňovat výsledky měření.

# LITERATURA

- [1] HORŇÁK, Pavol. *Umelé osvetlenie*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1976, 177 s.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. *Elektrické světlo a teplo*. 1. vyd. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1990, 281 s. ISBN 80-707-8061-4.
- [3] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013, 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [4] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. 2. dopl. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006, 623 s. ISBN 80-867-0613-3.
- [5] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. české vyd., 2. dotisk. Brno: VUTIUM, 2000, vii, 1198 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [6] PLCH, Jiří, Jitka MOHELNÍKOVÁ a Petr SUCHÁNEK. *Osvětlení neosvětlitelných prostor*. 1. vyd. Brno: ERA, 2004, v, 129 s. ISBN 80-865-1782-9.
- [7] BYSTRICKÝ, Václav a Jan KAŇKA. *Osvětlení*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, 82 s., 5 l. obr. příl. ISBN 80-010-1585-8.
- [8] HOLEK, Michał. Color temperature: Color temperature hue scale. *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. 2007 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Color\\_temperature.svg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Color_temperature.svg)
- [9] HABEL, Jiří. Základy nauky o barvě (1. část). *Světlo*. 2009, (5): 64-66. ISSN 1212-0812.
- [10] HABEL, Jiří. Základy nauky o barvě (2. část). *Světlo*. 2009, (6): 53-57. ISSN 1212-0812.
- [11] The CIE 1931 xy chromaticity space, also showing the chromaticities of black-body light sources of various temperatures, and lines of constant correlated color temperature. *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. 2012 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:PlanckianLocus.png>
- [12] PONEC, Jan. O barvě. In: *Olomoucký fyzikální kaleidoskop 2005* [online]. 2005 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: [http://kaleidoskop.upol.cz/old/kal2005/Ponec2/O\\_barve.pdf](http://kaleidoskop.upol.cz/old/kal2005/Ponec2/O_barve.pdf)
- [13] HORŇÁK, Pavol. *Svetelná technika*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1989, 247 s. ISBN 80-050-0122-3.

- [14] BAXANT, Petr a Jiří DRÁPELA. *Užití elektrické energie: Světelné zdroje a osvětlování* [online]. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007 [cit. 2013-12-07].
- [15] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. Praha: FCC Public, 1995, 437 s. ISBN 80-901-9850-3.
- [16] HABEL, Jiří. *Osvětlování*. Dotisk prvního vydání. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1995, 328 s. ISBN 80-010-0728-6.
- [17] *Mezinárodní elektrotechnický slovník: Kapitola 845: Osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [18] VALOUCH, Miloslav. *Tabulky logaritmické*. 10. přeprac. vyd. Praha: Jednota českých matematiků a fyziků, 1937, 203 s.
- [19] BERKA, Štěpán. *Elektrotechnická schémata a zapojení 2: řídicí, ovládací a bezdrátové prvky*. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 240 s. ISBN 978-80-7300-254-1.
- [20] BEBČÁK, Petr. *Požární bezpečnost staveb - kabelové rozvody: kabelové rozvody pro napájení požárně bezpečnostních zařízení a zařízení, která musejí zůstat v případě požáru funkční*. 1. vyd. Ostrava: P. Bebčák, 2010, 60 s. ISBN 978-80-254-6883-8.
- [21] Desky z pěněného PVC. *Portaflex* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.portaflex.cz/cz/produkty/materialy-pro-reklamu/default.aspx>
- [22] ŠANDERA, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 270 s. ISBN 80-730-0181-0.
- [23] VRBA, Kamil. *Konstrukce elektronických zařízení* [online]. Brno, 2013 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: e-learningu VUT
- [24] *Zařízení informační technologie*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [25] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení* [online]. 2014 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: e-learningu VUT
- [26] *Elektrické instalace nízkého napětí*. Ed. 2. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [27] KADLEC, Radim a Miloslav STEINBAUER. *Bezpečná elektrotechnika*. Brno: VUTTIUM, 2015.
- [28] *Elektrotechnické předpisy. Značení vodičů barvami nebo číslicemi. Prováděcí ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1992.

- [29] MACH, Pavel, Vlastimil SKOČIL a Jan URBÁNEK. *Montáž v elektrotechnice: Pouzdření aktivních součástek, plošné spoje*. Praha: ČVUT, 2001, 440 s. ISBN 80-010-2392-3.
- [30] HÁJEK, Jan. *Časovač 555: praktická zapojení*. 2. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1998, 127 s. ISBN 80-901-9841-4.

## SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC	Alternating Current; střídavý proud
CaCO <sub>3</sub>	uhličitan vápenatý
CaO	oxid vápenatý
CD	Compact Disc; kompaktní disk
CIE	Commission internationale de l'éclairage; Mezinárodní komise pro osvětlování
CRI	Color Rendering Index; index podání barev
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DC	Direct Current; stejnosměrný proud
DPS	deska plošných spojů
FeCl <sub>3</sub>	chlorid železitý
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
InGaN	indium-galium nitrid
IP	Ingress Protection; stupeň krytí
IR	infra red; infračervená
LED	Light Emitting Diode; svítivá dioda
MgCl <sub>2</sub>	chlorid hořečnatý
MgO	oxid hořečnatý
NaOH	hydroxid sodný
PE	Potencial of Earth; zemní potenciál
PMMA	polymethylmethakrylát
PVC	polyvinylchlorid
SELV	Safety Extra-Low Voltage; bezpečné malé napětí

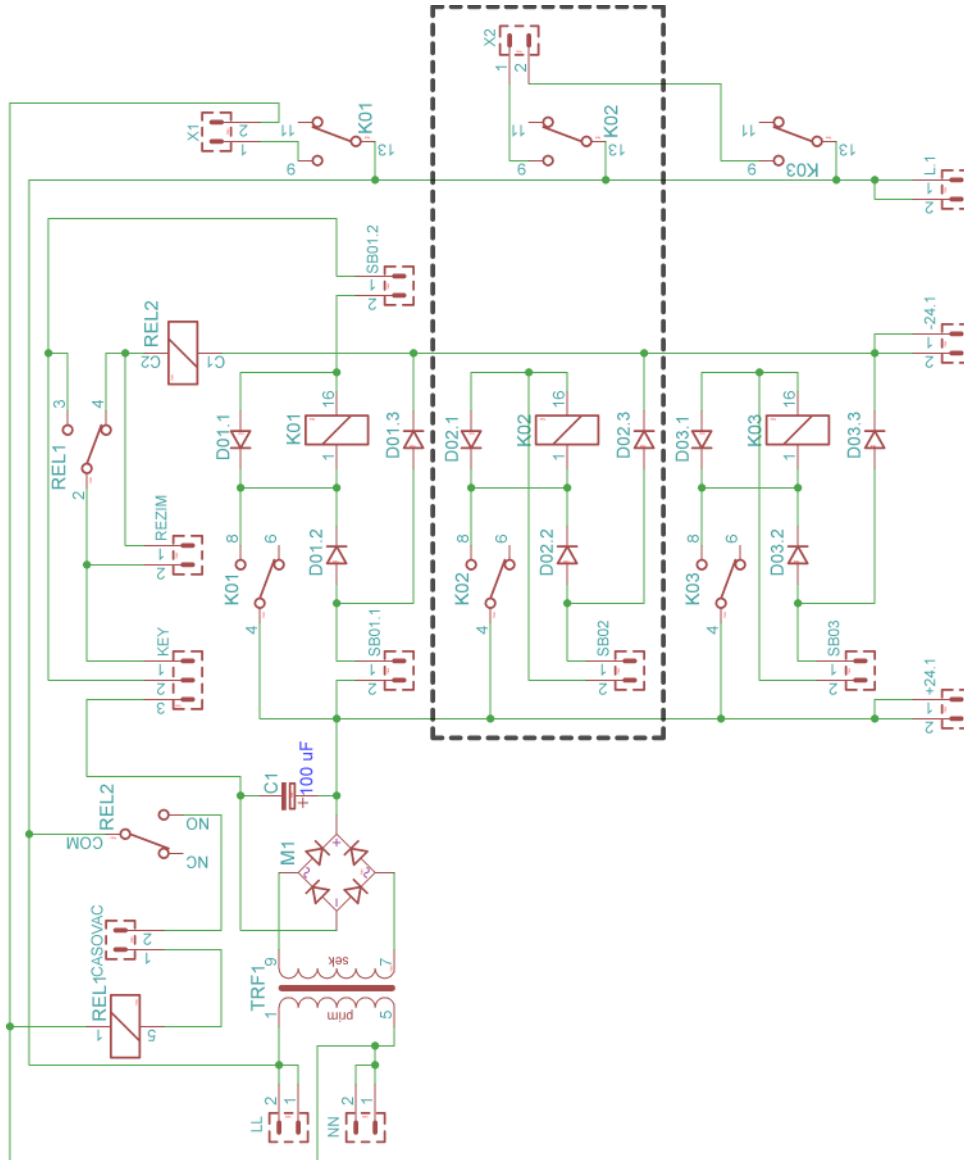
SrO	oxid strontnatý
UV	ultra violet; ultrafialová
VUT	Vysoké učení technické
$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$	ytrito-hlinitý granát aktivovaný cerem

# SEZNAM PŘÍLOH

A Schémata jednotlivých DPS	61
B Návrh rozložení jednotlivých desek	64
C Světelná spektra měřených světelných zdrojů	68
D Matrice jednotlivých DPS	76
E Využití časovače 555	79
F Obsah přiloženého CD	80

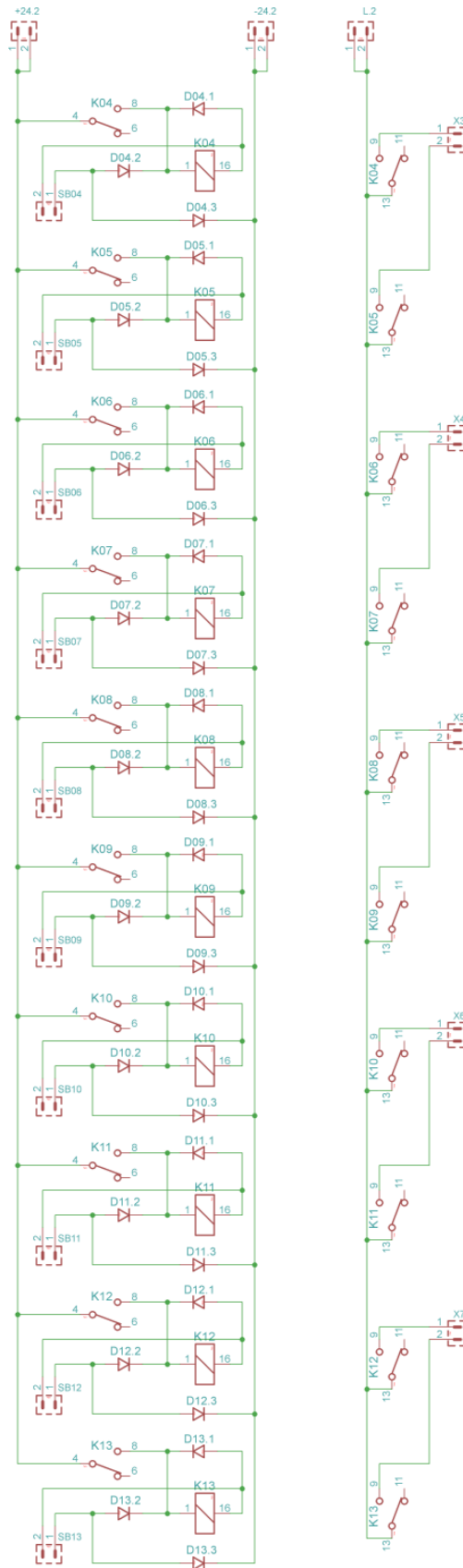
# A SCHÉMATA JEDNOTLIVÝCH DPS

Obr. A.1: Schéma první desky



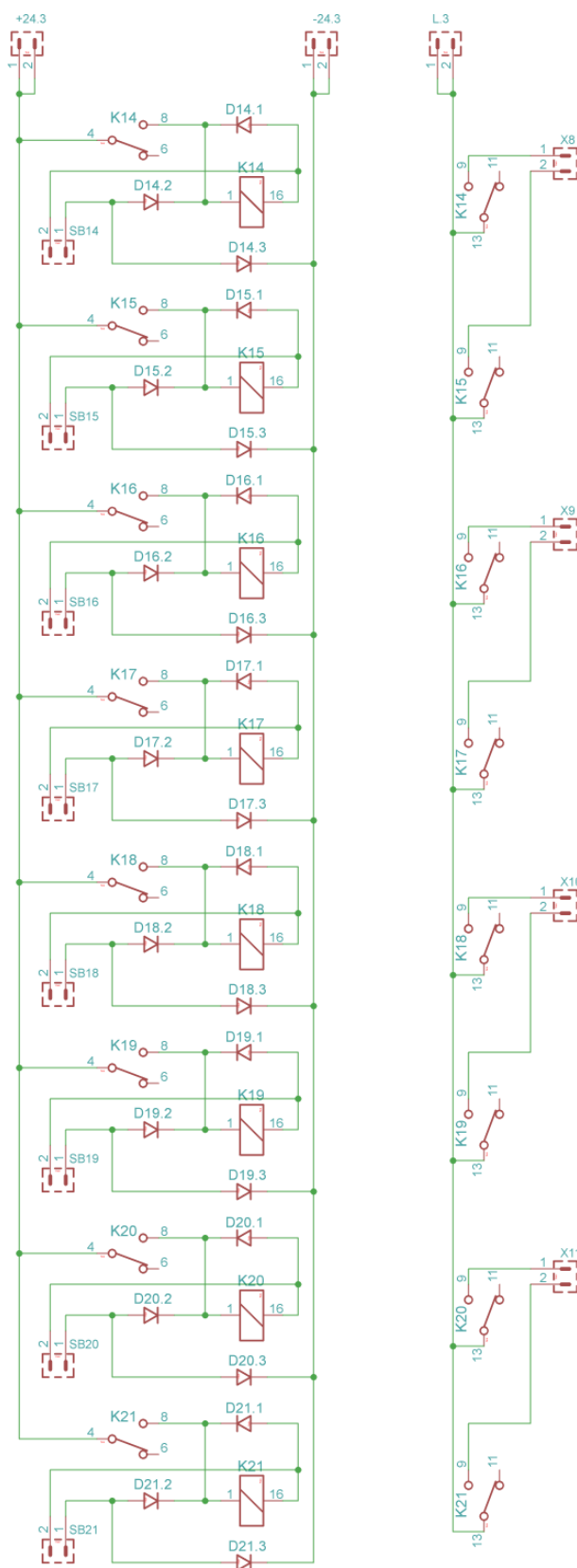
Zdroj: autor

Obr. A.2: Schéma druhé desky



Zdroj: autor

Obr. A.3: Schéma třetí desky

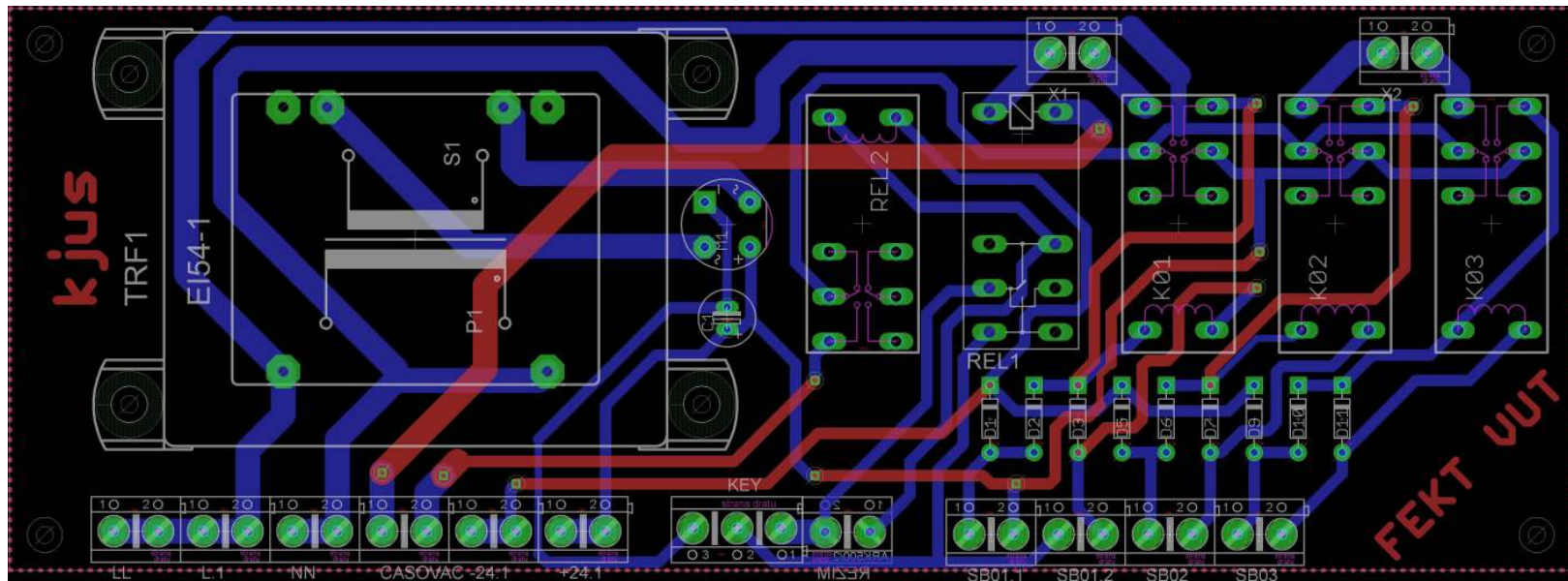


Zdroj: autor

## **B NÁVRH ROZLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH DESEK**

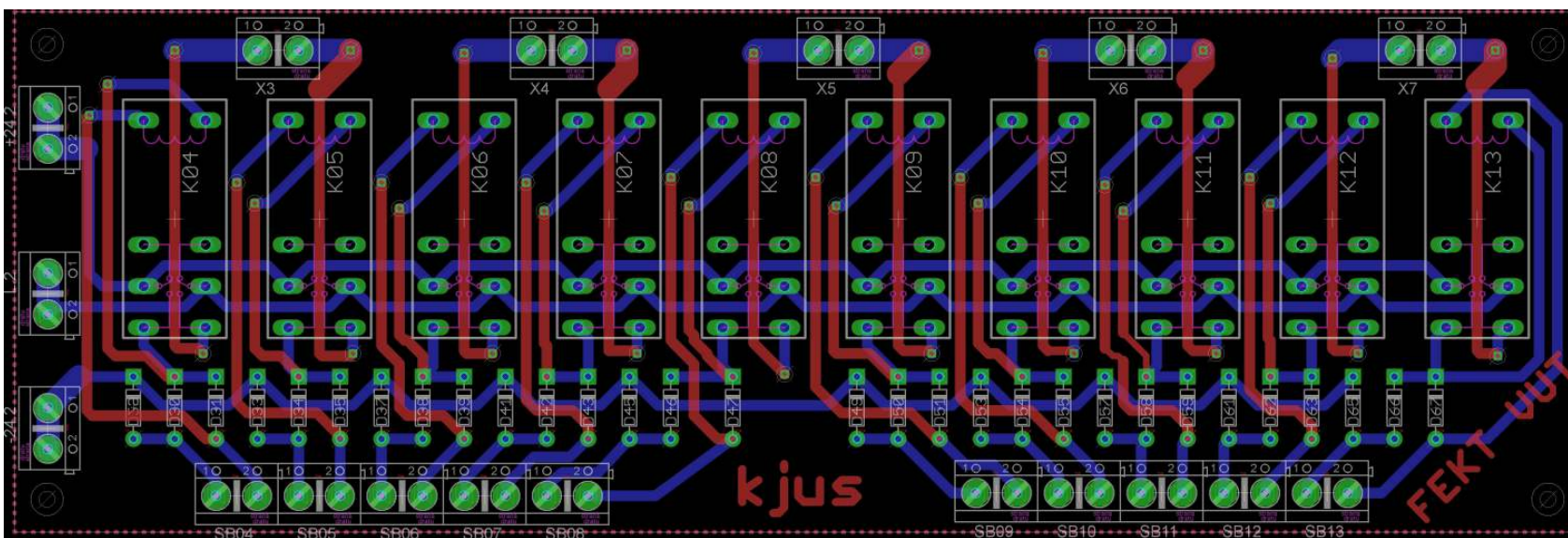
Na obrázcích je červenou barvou znázorněna horní strana (strana součástek) a modrou barvou pak spodní strana; pro přehlednost zde nejsou zobrazeny polygony (plochy mědi nesloužící jako vodiče).

Obr. B.1: Návrh první desky

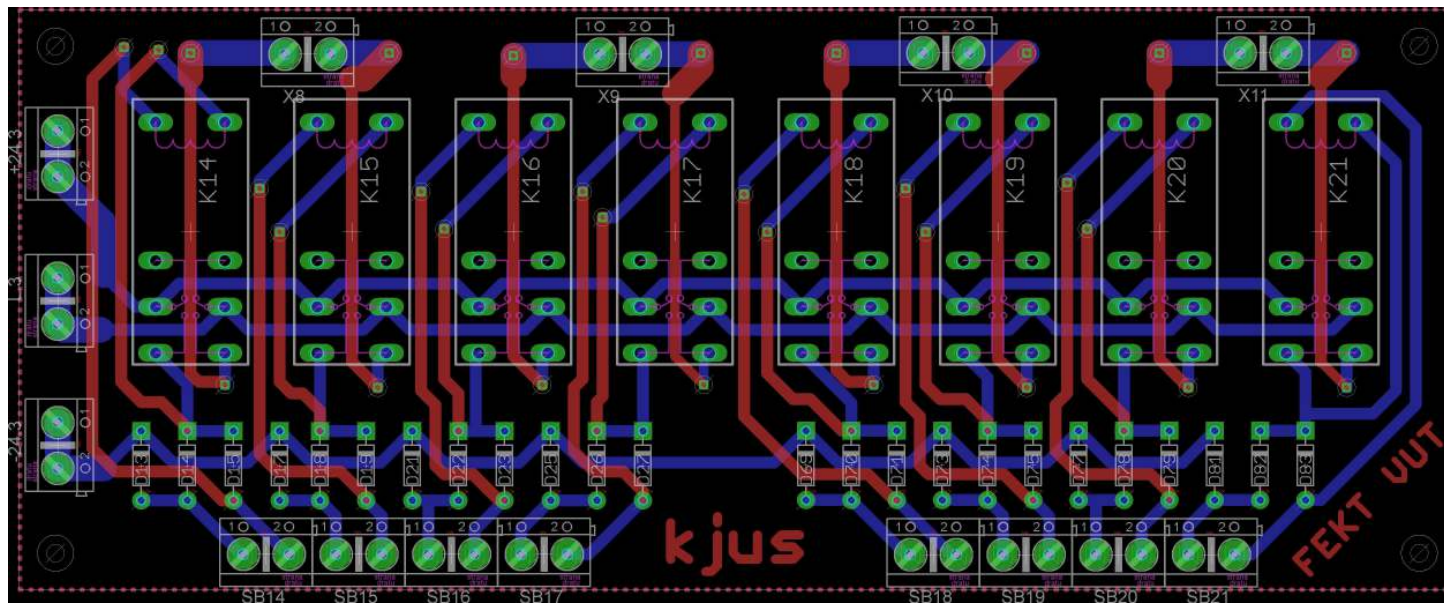


Zdroj: autor

Obr. B.2: Návrh druhé desky



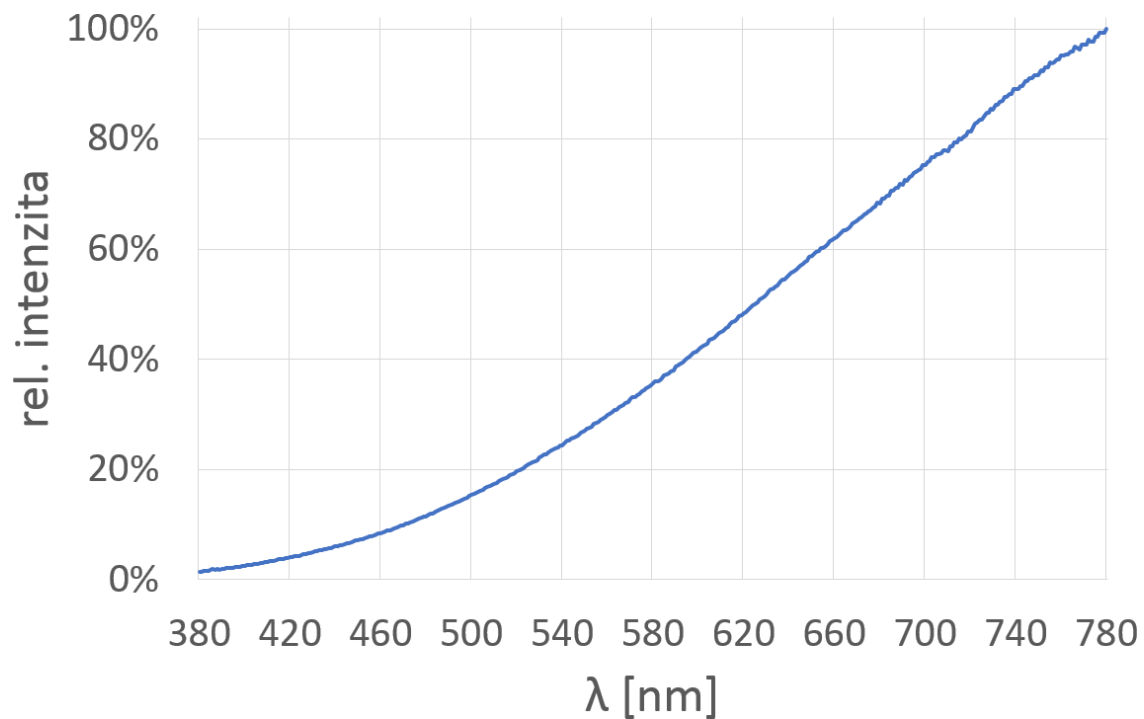
Obr. B.3: Návrh třetí desky



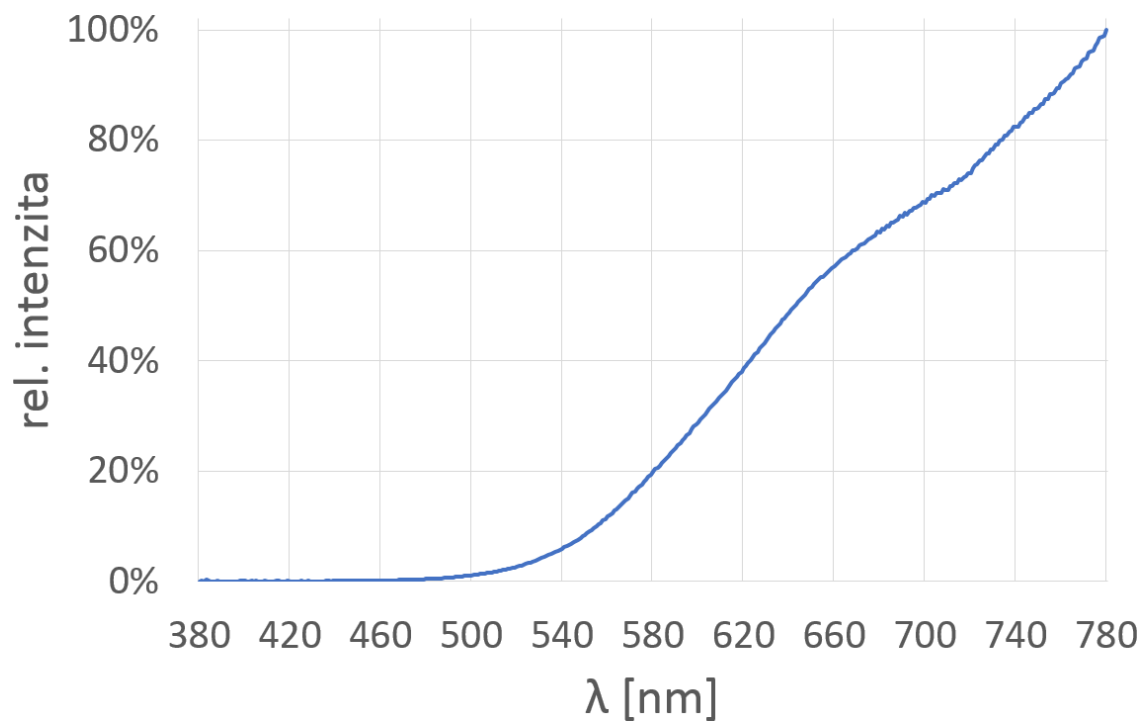
Zdroj: autor

## C SVĚTELNÁ SPEKTRA MĚŘENÝCH SVĚTEL- NÝCH ZDROJŮ

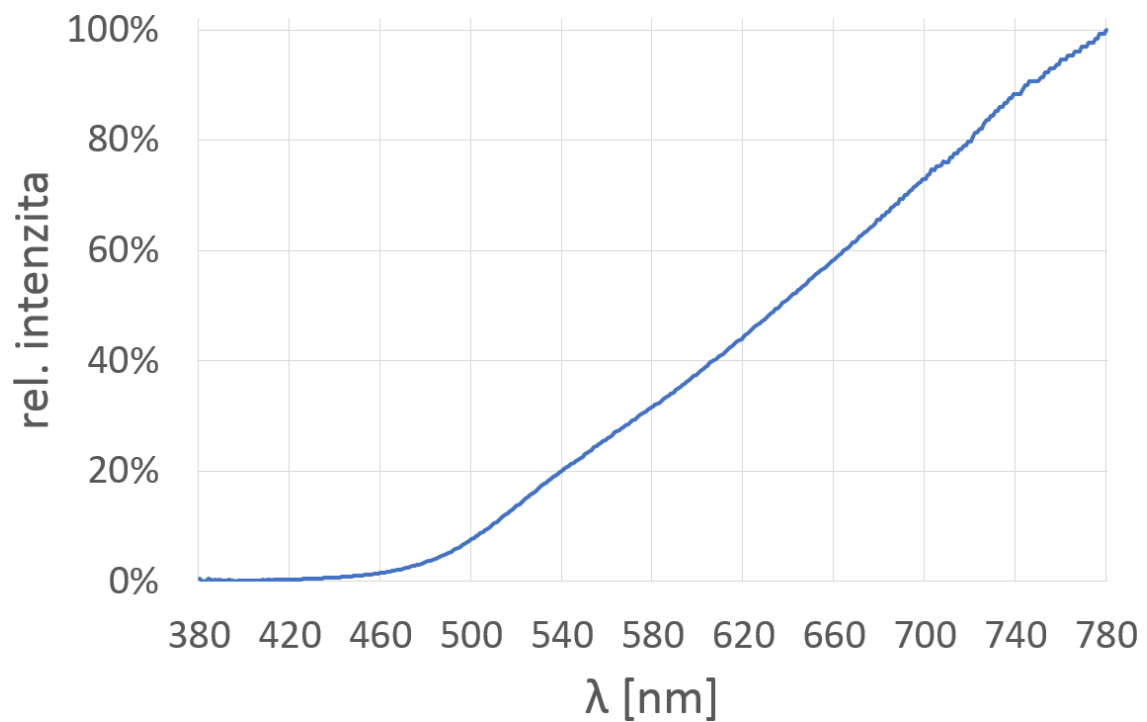
Obr. C.1: Změřené světelné spektrum zdroje B



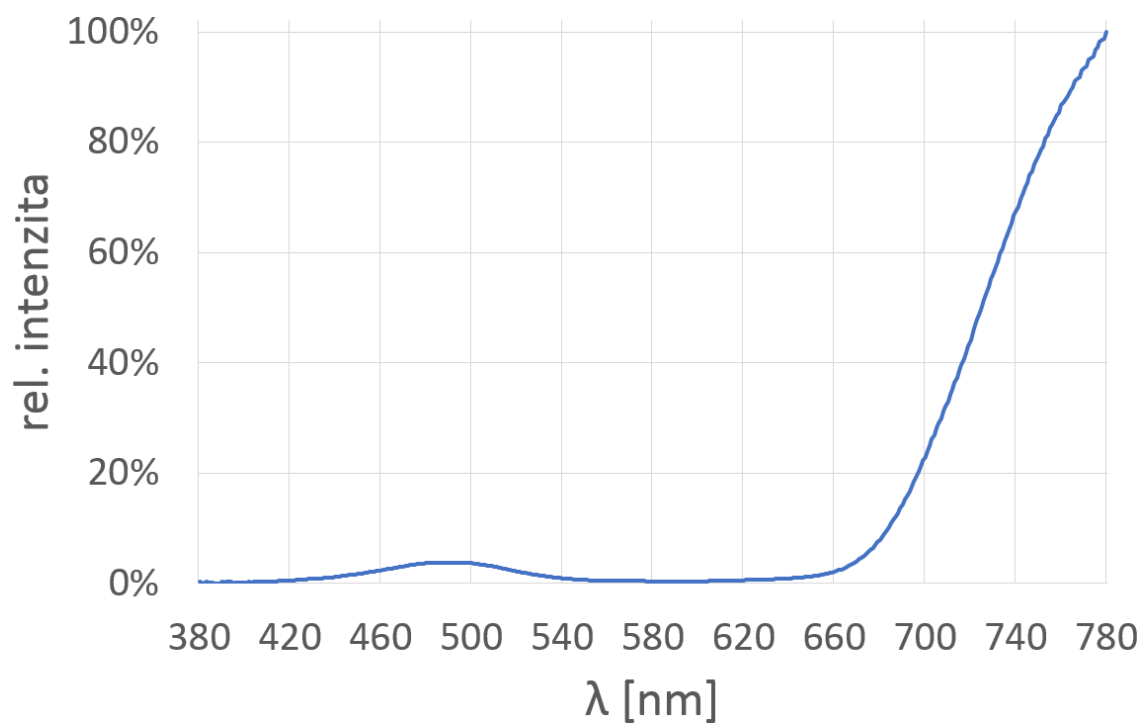
Obr. C.2: Změřené světelné spektrum zdroje C



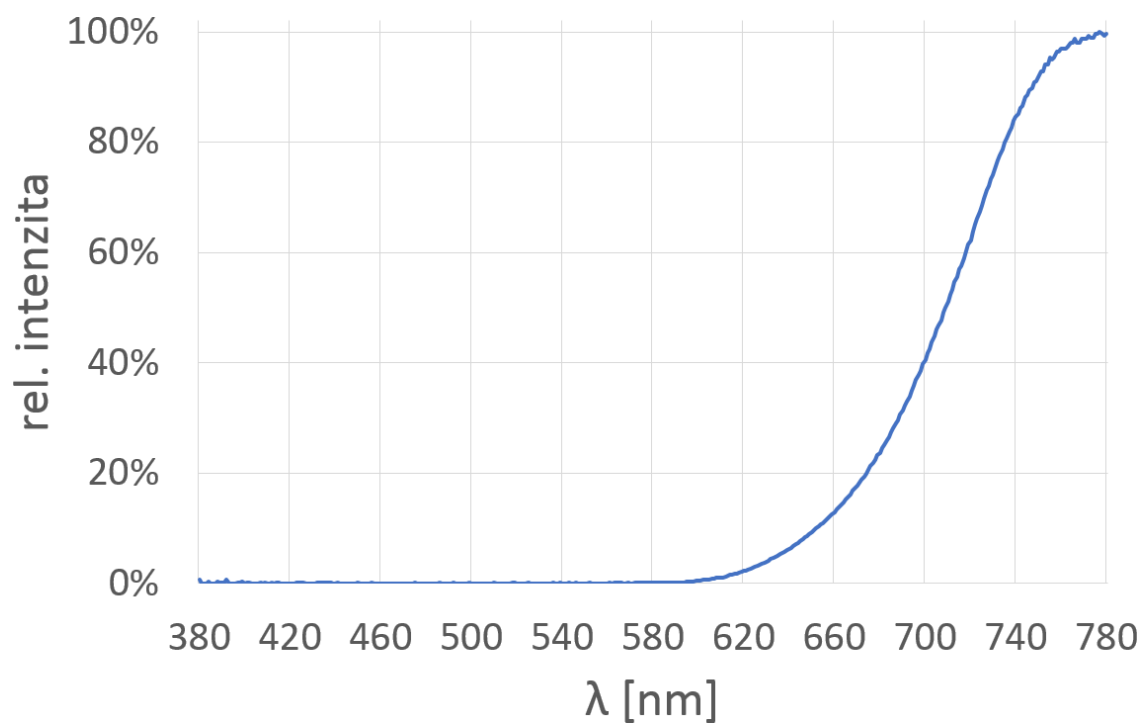
Obr. C.3: Změřené světelné spektrum zdroje D



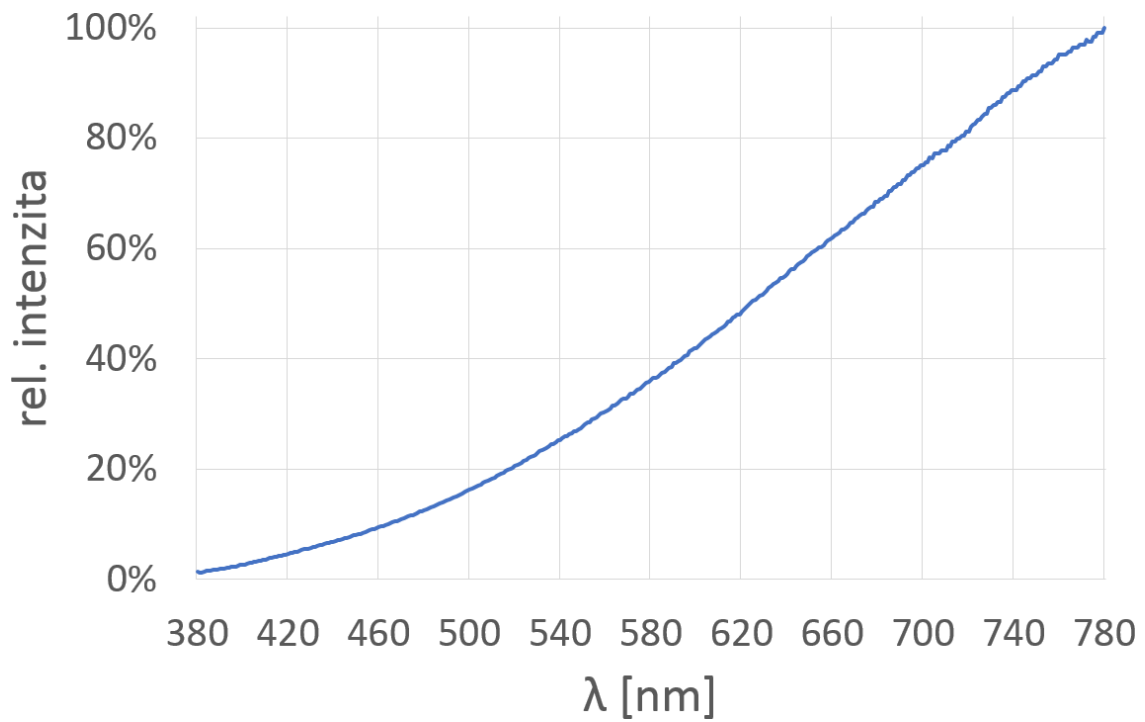
Obr. C.4: Změřené světelné spektrum zdroje E



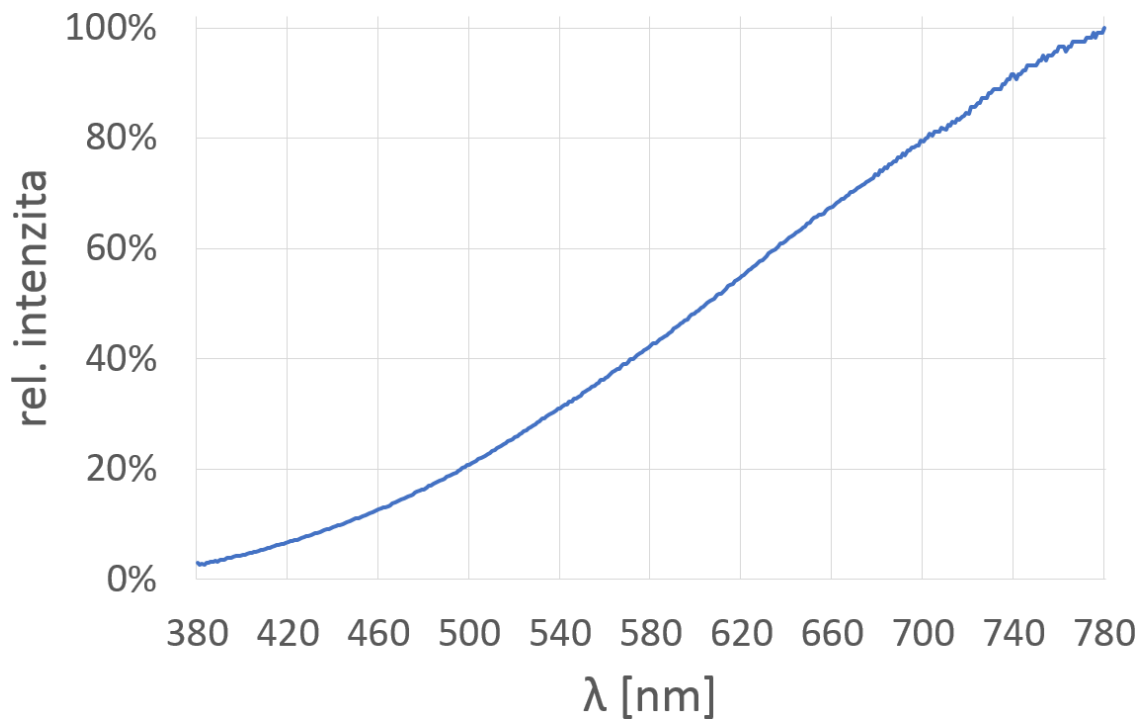
Obr. C.5: Změřené světelné spektrum zdroje F



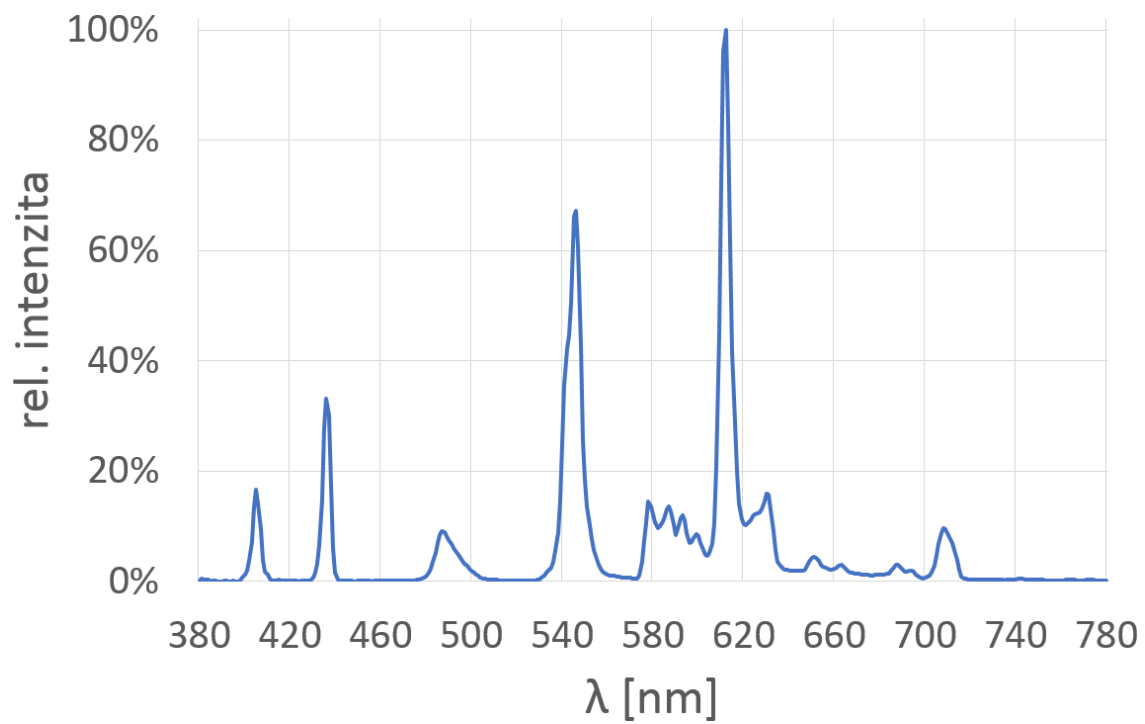
Obr. C.6: Změřené světelné spektrum zdroje G



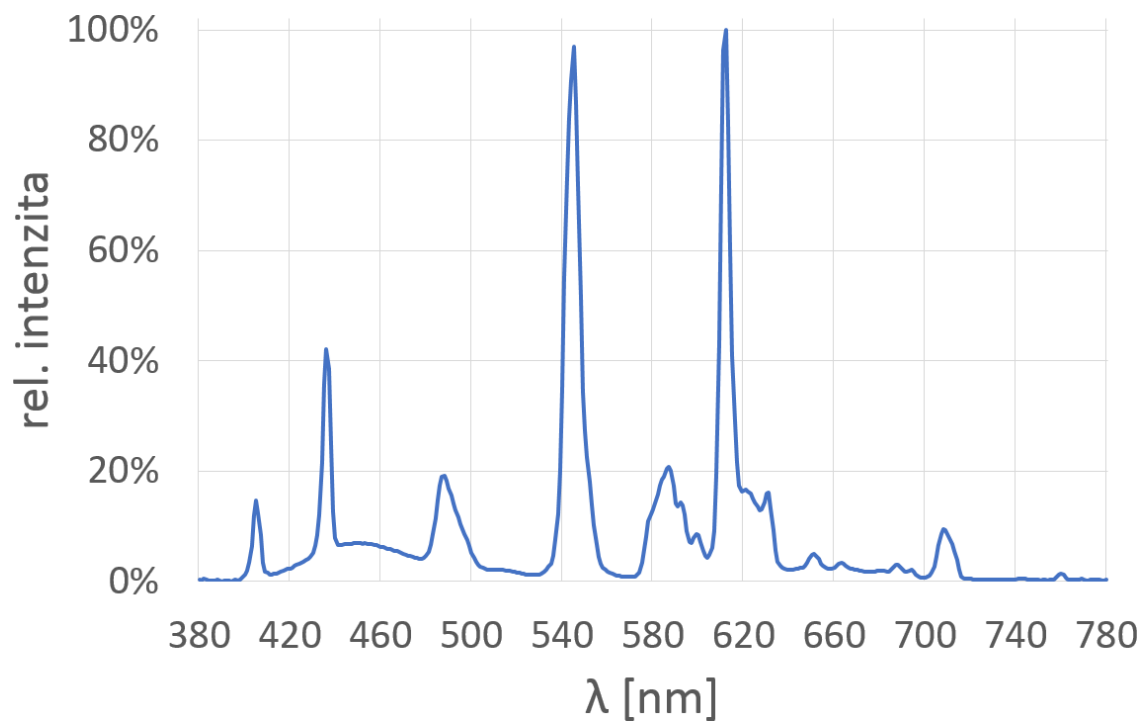
Obr. C.7: Změřené světelné spektrum zdroje H



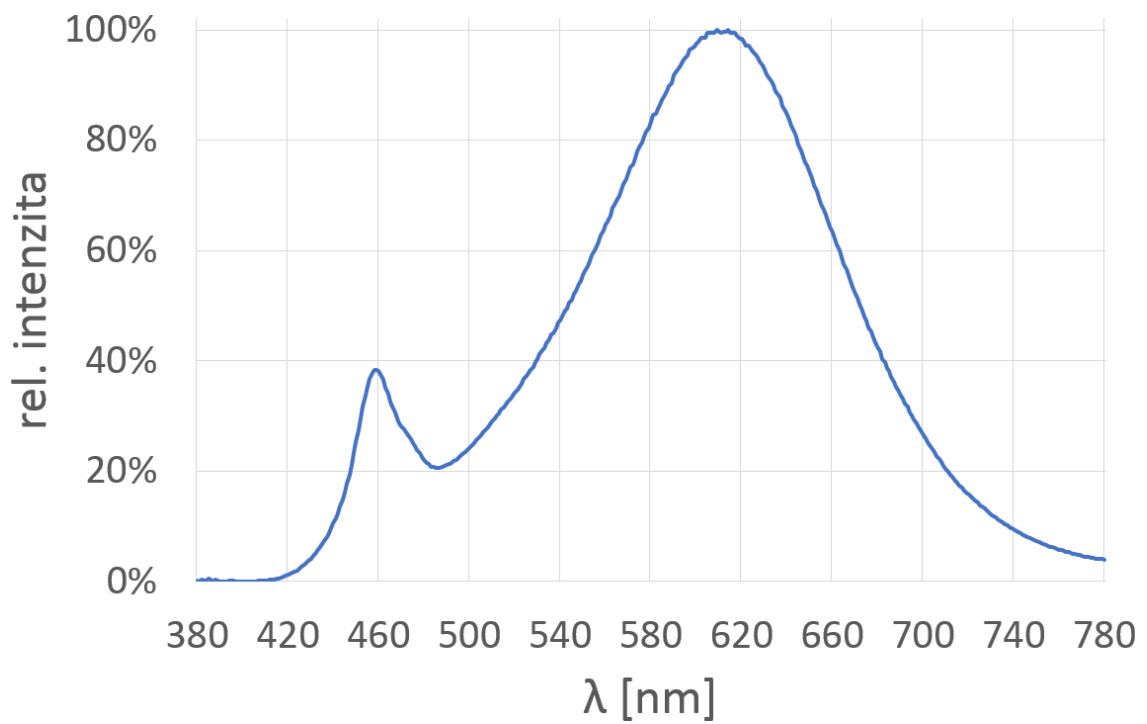
Obr. C.8: Změřené světelné spektrum zdroje J



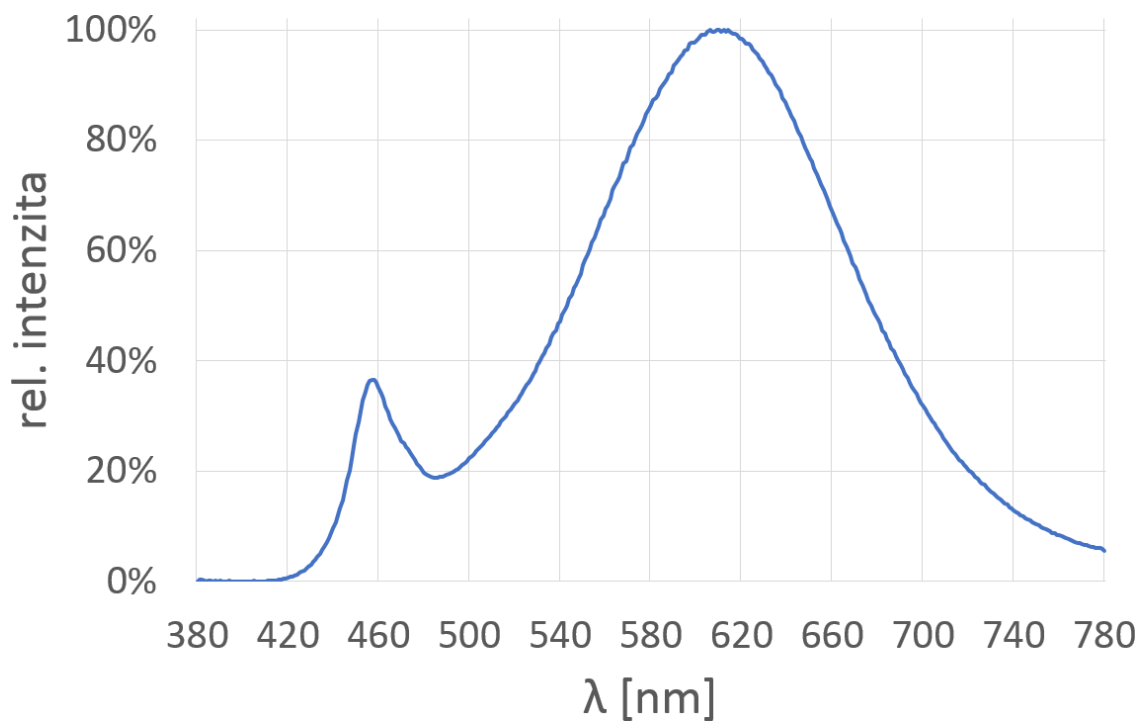
Obr. C.9: Změřené světelné spektrum zdroje K



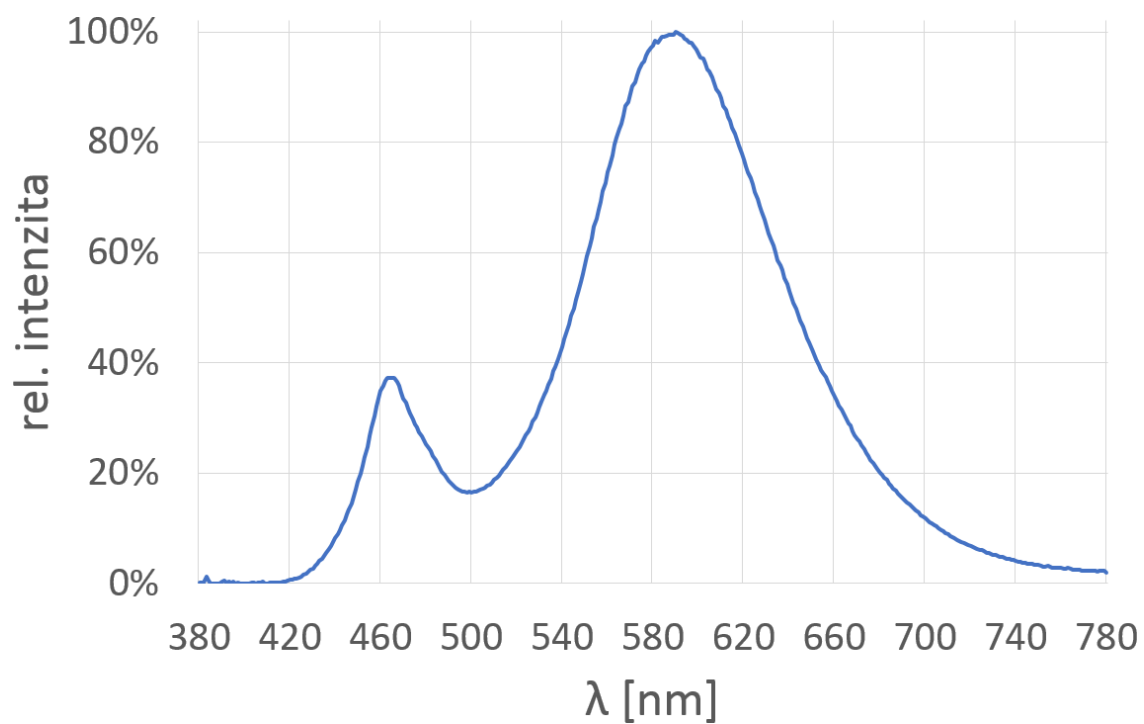
Obr. C.10: Změřené světelné spektrum zdroje L



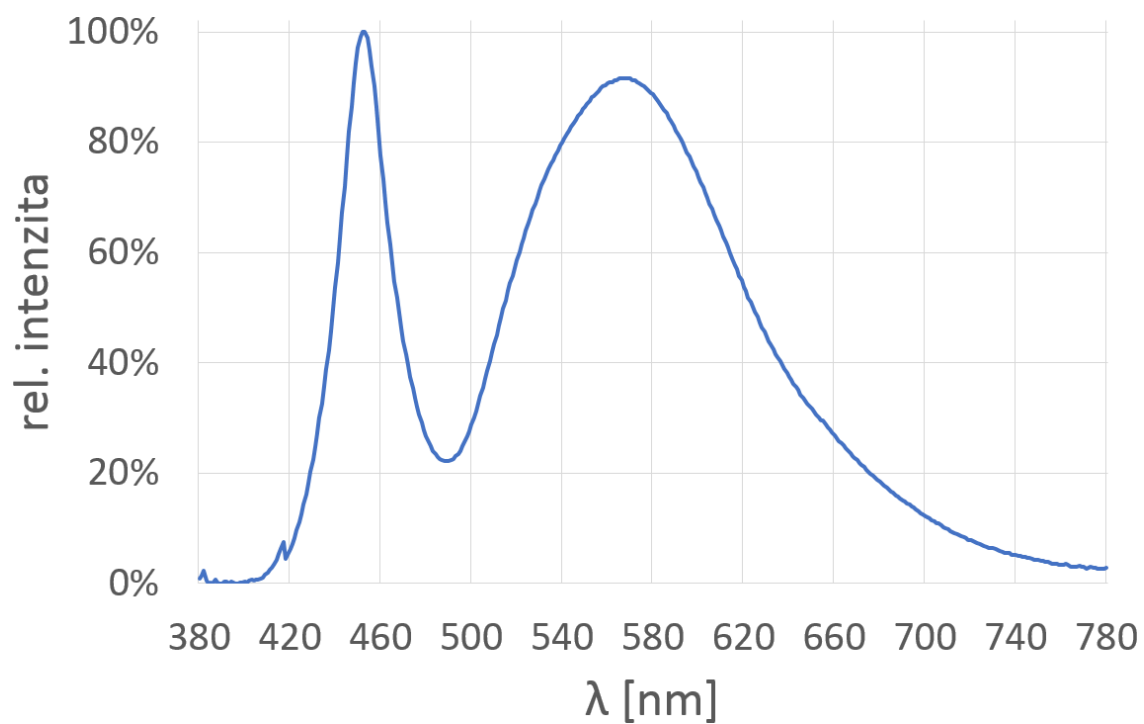
Obr. C.11: Změřené světelné spektrum zdroje N



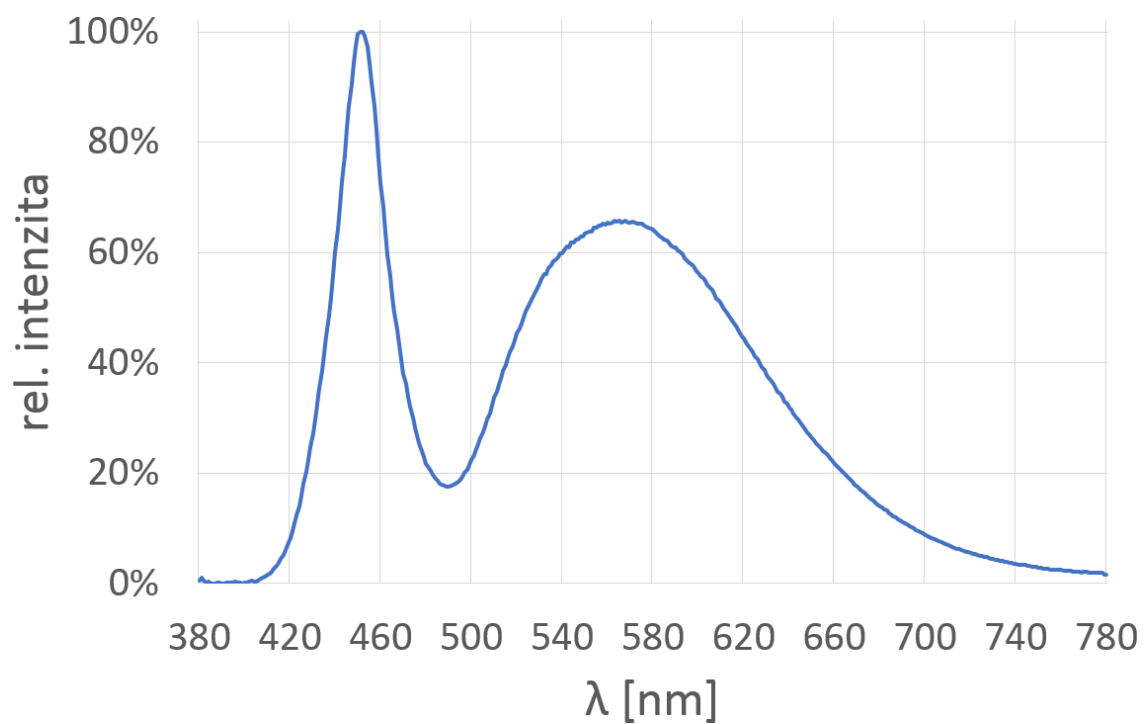
Obr. C.12: Změřené světelné spektrum zdroje O



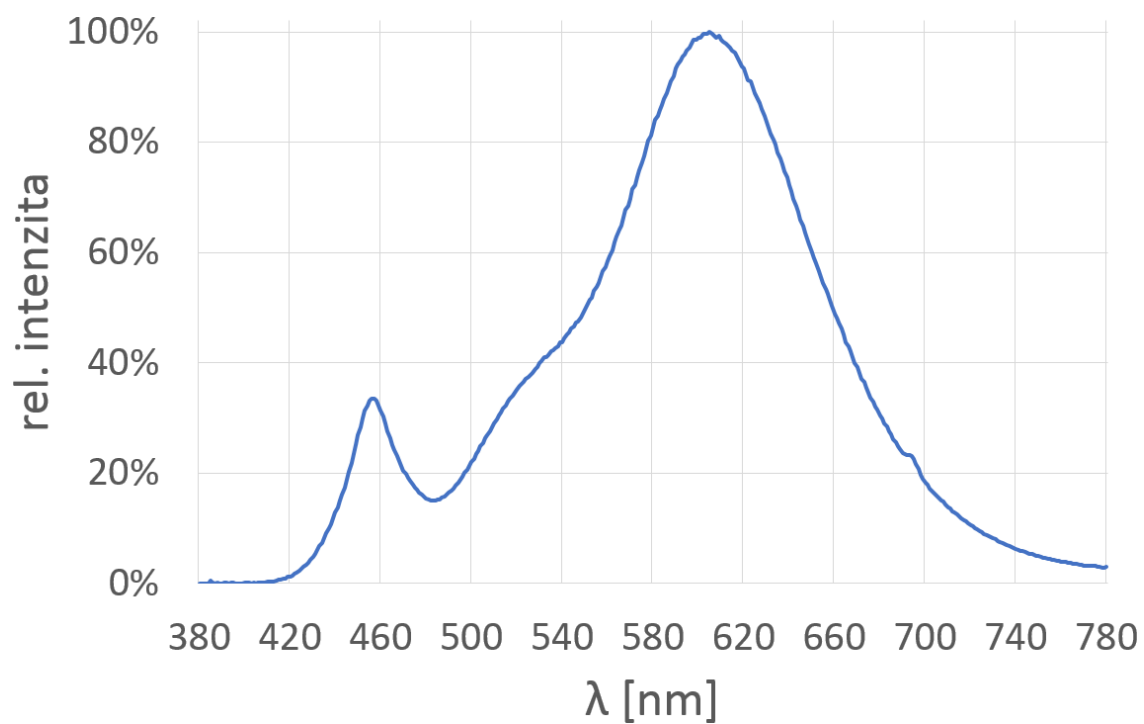
Obr. C.13: Změřené světelné spektrum zdroje P



Obr. C.14: Změřené světelné spektrum zdroje Q

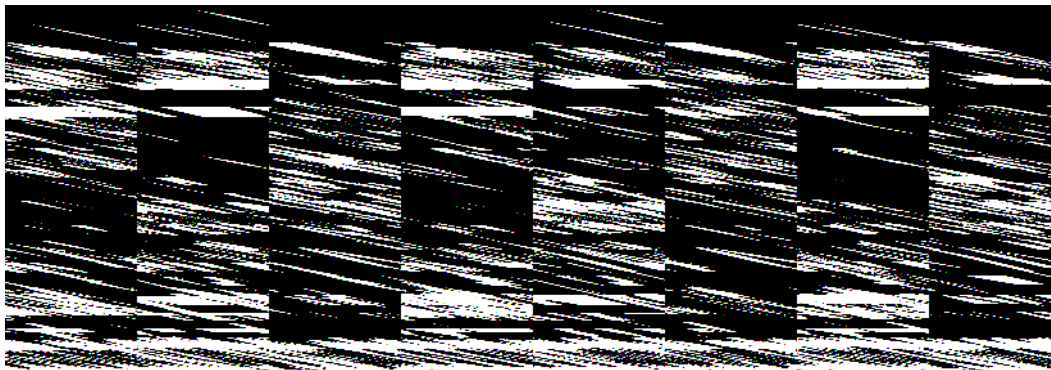


Obr. C.15: Změřené světelné spektrum zdroje R



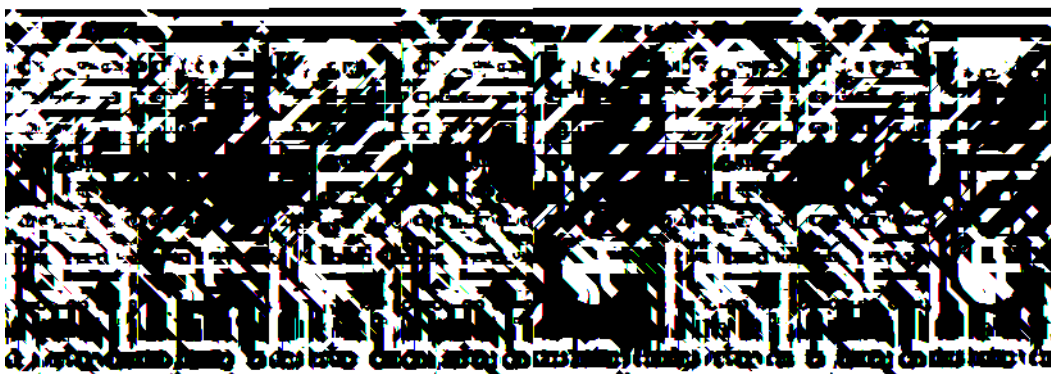
## D MATRICE JEDNOTLIVÝCH DPS

Obr. D.1: Matrice první desky – horní strana



Zdroj: autor

Obr. D.2: Matrice první desky – spodní strana



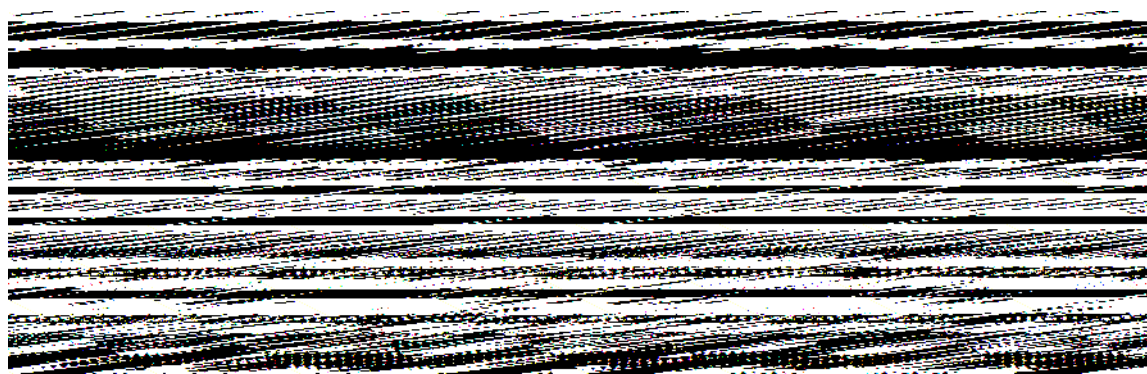
Zdroj: autor

Obr. D.3: Matrice druhé desky – horní strana



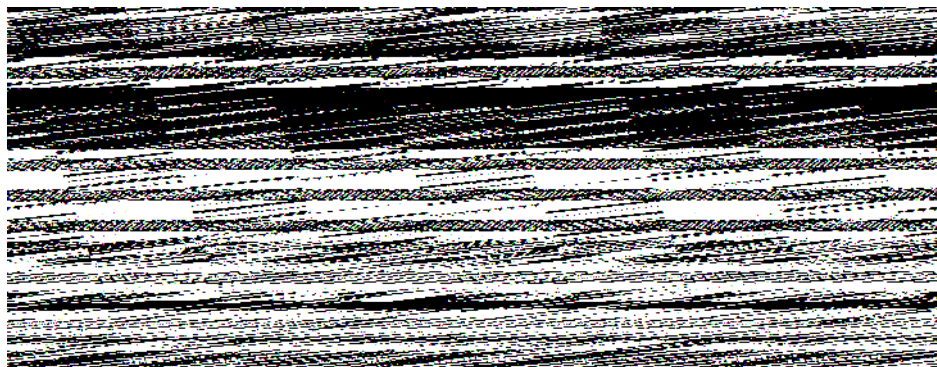
Zdroj: autor

Obr. D.4: Matrice druhé desky – spodní strana



Zdroj: autor

Obr. D.5: Matrice třetí desky – horní strana



Zdroj: autor

Obr. D.6: Matrice třetí desky – spodní strana



Zdroj: autor

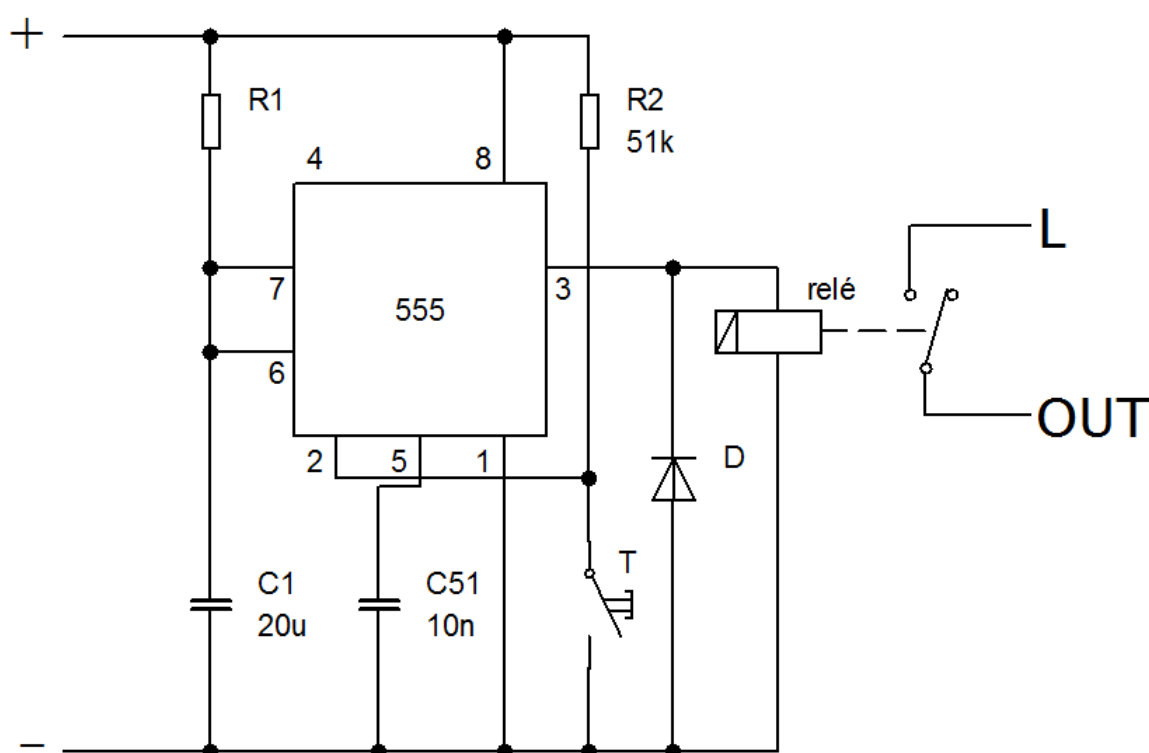
## E VYUŽITÍ ČASOVAČE 555

Pro časované spínání výstupu lze užít časovače 555. Jedná se o monolitický integrovaný obvod, který obsahuje napěťový dělič, dva komparátory, paměťový klopný obvod, výkonný koncový stupeň a spínací tranzistor.

Výhodou tohoto řešení je zejména nižší cena a vyšší spolehlivost, nevýhodou je však nutnost sestavit celý obvod (např. za použití DPS).

Zapojení obvodu s časovačem je patrné z obr. E.1.

Obr. E.1: Schéma zapojení s časovačem 555



Zdroj: [30], upraveno autorem

Nastavení času  $t$  se provádí pomocí vhodné volby odporu  $R1$ . Dioda  $D$  má ochrannou funkci.

Princip fungování je jednoduchý. Na spouštěcí vstup (vývod 2) je odporem  $R2$  přivedeno kladné napětí, na výstupu (vývod 3) je proto v klidovém stavu nízká napěťová úroveň a kontakt relé je v poloze vyznačené ve schématu. Stiskem tlačítka  $T$  multivibrátor překlopí a kotva relé přitáhne. K odpadnutí dojde po uplynutí nastaveného času.

Pro použití v panelu se místo tlačítka  $T$  použije jednoduché relé, na které se přivede signál ze spínacích tlačítek jednotlivých zdrojů.

## F OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

### kořenový adresář

#### **karty.docx**

vzorové popisové karty v editovatelném formátu s ořezovými značkami (pro případné budoucí úpravy)

#### **mereni.xlsx**

veškeré naměřené hodnoty jednotlivých zdrojů

#### **obsah.txt**

tento obsah

### adresář schemata

#### **celkove.eps**

schéma celého zařízení (formát EPS)

#### **celkove.png**

schéma celého zařízení (formát PNG)

#### **deska\_a.eps**

schéma první desky (formát EPS)

#### **deska\_a.png**

schéma první desky (formát PNG)

#### **deska\_b.eps**

schéma druhé desky (formát EPS)

#### **deska\_b.png**

schéma druhé desky (formát PNG)

#### **deska\_c.eps**

schéma třetí desky (formát EPS)

#### **deska\_c.png**

schéma třetí desky (formát PNG)

#### **uprava\_dps.eps**

schéma celého zařízení upravené pro zhotovení DPS (formát EPS)

#### **uprava\_dps.png**

schéma celého zařízení upravené pro zhotovení DPS (formát PNG)