

Měření absorpce světelného záření barevnými roztoky

Aleš Vašička

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš VAŠIČKA**
Osobní číslo: **A10259**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Měření absorpce světelného záření barevnými roztoky**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte a popište princip kolorimetrie.
2. Proveďte rozbor vhodných senzorů na měření absorpce světelného záření.
3. Navrhněte experimentální úlohu pro výukové účely s využitím vybraných senzorů.
4. Realizujte a ověřte funkčnost experimentální úlohy.
5. Navrhněte vhodné zadání k měření s vytvořenou úlohou.
6. Vypracujte vzorový protokol z měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. VIKOVÁ, Martina.
Kolorimetrie funkčních barviv [online]. Liberec, 2009 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/sylaby/Textilni_Fyzika/Kolorimetrie%20funk%C4%8Dn%C3%99%20barviv. Elektronická skripta. Technická univerzita v Liberci.
2. HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80-7454-096-7.
3. HLAVÁČ, Václav. Barva, barevné obrazy a správa barev [online]. Praha, 2011 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/04ColorImagCz.pdf>. Elektronická skripta. České vysoké učení technické.
4. MAŤÁTKO, Jan. Elektronika. 6. vyd., V Idea servis 5., dopl. a upr. vyd. Praha: Idea servis, 2008, 362 s. ISBN 978-80-85970-64-7.
5. ŠTĚTINA, Josef, Michal JAROŠ a Pavel RAMÍK. Snímače světelného záření. Virtuální laboratoř – Měření: Měření snímače, metody [online]. Brno, 2003 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka03-07.htm>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Skočík
Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

28. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

13. června 2014

Ve Zlíně dne 28. února 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je navrhnout a vytvořit laboratorní úlohu, která se zabývá měřením absorpce světelného záření včetně zadání úlohy a vypracování vzorového protokolu pro předmět Senzory. Práce je rozdělena do dvou částí teoretické a praktické. Teoretická část se věnuje základním pojmům v kolorimetrii, zdrojům světla (LED) a základním typům senzorů (fototranzistor, fotodioda). Praktická část se věnuje návrhu a realizaci úlohy, dále měření a vyhodnocování dat.

Klíčová slova: kolorimetrie, absorpce, senzory, protokol, záření, LED, fototranzistor.

ABSTRACT

Aim of this work is to design and build a laboratory task that deals with measuring the absorption of light, including task and to develop a model protocol for subject sensors. The work is divided into two parts: theoretical and practical. The theoretical part deals with basic concepts in colorimetry, light sources (LED) and basic types of sensors (phototransistor, photodiode). The practical part deals with the design and implementation tasks, evaluation up the measured data.

Keywords: colorimetry, absorption, sensors, protocol, radiation, LED, phototransistor.

V první řadě bych chtěl poděkovat Ing. Petru Skočíkovi, za rady, čas, odborné vedení a trpělivost, kterou mi věnoval při vypracovávání bakalářské práce. Nakonec bych chtěl poděkovat spolužákům a kamarádům za jejich rady.

„Co slyším, to zapomenu. Co vidím, si pamatuji. Co si vyzkouším, tomu rozumím.“

Konfucius

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1. KOLORIMETRIE	11
ZÁKLADNÍ POJMY V KOLORIMETRII.....	11
1.1 BAREVNOST	11
1.2 ZÁKLADNÍ BARVY	11
1.3 MÍSENÍ BAREV	11
1.4 ODSÍN (HUE).....	12
1.5 SYTOST (SATURATION).....	12
1.6 JAS (VALUE).....	12
1.7 BAREVNÉ MODELY	13
1.7.1 CIE	13
1.7.2 CIE L*a*b*	15
1.8 BAREVNÉ PROSTORY RGB & CMYK	16
1.8.1 RGB.....	16
1.8.2 CMYK.....	17
1.9 PŘÍSTROJE PRO ROZPOZNÁNÍ BAREVNOSTI	17
1.9.1 Kolorimetr	17
1.9.2 Spektrofotometr.....	18
2 ZDROJE SVĚTLA	19
2.1 LED DIODA	19
2.1.1 Výpočet předřadného odporu.....	19
2.1.2 Vlastnosti LED	20
2.1.3 Konstrukce	22
2.2 LASEROVÁ DIODA	23
2.2.1 Typy a struktura	23
2.2.2 Parametry	23
2.2.3 Konstrukce	24
3 POLOVODIČOVÉ SENZORY FOTOELEKTRICKÉ	25
3.1 FOTOREZISTOR	25
3.2 FOTOTRANZISTOR	26
3.3 FOTODIODA	26
3.4 FOTOTYRISTOR.....	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI	30
5 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY A VÝBĚR SOUČÁSTEK	31
5.1 VÝBĚR POLOVODIČOVÝCH SOUČÁSTEK.....	32
5.1.1 LED diody	32
5.1.2 Fototranzistory	34

5.2	VÝBĚR PŘEPÍNAČŮ	35
5.3	NÁVRH A VÝROBA PODSTAVCE	37
5.4	ÚPRAVA KRABÍČKY PŘEPÍNAČŮ.....	39
6	REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY	41
7	ZADÁNÍ LABORATORNÍ ÚLOHY	47
8	VZOROVÝ PROTOKOL	51
	ZÁVĚR	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	62

ÚVOD

Měření světelného záření patří v dnešní době mezi jednu z nejvíce měřených veličin a to nejen v průmyslu. Takové měřicí přístroje jsou velmi nákladné, proto jsem se rozhodl pro takové téma bakalářské práce, kdy se dá s podstatně menšími náklady vytvořit podobný měřicí přístroj, který poslouží k měření absorpce světelného záření.

S absorpcí světla se můžeme setkat i v běžném životě, většina automobilů v dnešní době má zatmavená skla, to nejen že absorbuje světlo, ale dokonce i tepelnou energii. Další příklad se může najít i v domácnosti, kdy na zabarvenou kapalinu (vodu, minerální vodu) dopadá např. sluneční světlo a to je absorbováno, dle koncentrace zabarvení. Je tomu tak i v průmyslu, jedním z mnoha jsou fotovoltaické panely, které jsou schopny absorbovat světelnou energii, která se věnuje téma kolorimetrie.

Kolorimetrie je vědní disciplína, zkoumající viditelné záření, které je pro člověka definované vlnovou délkou 400 až 700 [nm]. Pro vytvoření představy, jakými parametry jsou barvy definované, je nutné porozumět základním pojmům, které jsou obsaženy v teoretické části.

Teoretická část objasňuje základní pojmy v kolorimetrii, kterými jsou: základní barvy, odstín, sytost, jas, barevné modely CIE a barevné prostory. Dále zdroje světla pracující na polovodičovém principu typu PN přechod (LED). A nakonec rozbor vhodných fotoelektrických senzorů, shrnutí výhod nevýhod a možnost použití.

Praktická část obsahuje postupný výběr součástek vhodných k sestavení laboratorní úlohy: LED diody, fototranzistory, přepínače a jiné. Je zde také popsán návrh a výroba ostatního příslušenství. Část práce se věnuje vytvoření zadání a vyhodnocení dat, ze kterých byl zpracován vzorový protokol.

Níže uvedená práce se zabývá absorpcí světelného záření procházející skrz barevné roztoky s různou koncentrací, které jsou následně měřeny fotoelektrickými senzory.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. KOLORIMETRIE

Kolorimetrie je věda, zkoumající viditelné záření (světelné spektrum), které je pro člověka definované vlnovou délkou záření λ v rozsahu 400 až 700[nm]. Jednotlivé barvy, jsou reprezentovány numerickými hodnotami a pomocí tří základních barev, lze složit téměř všechny barvy. Tyto barvy jsou: červená (R-red), zelená (G-green) a modrá (B-blue).

Pro zobrazení jednotlivých barev existuje několik typů barevných prostorů, které tento požadavek splňují. Jedním z prvních matematicky definovaných prostorů je CIE XYZ (CIE 1931).

Základní pojmy v kolorimetrii

1.1 Barevnost

Definuje se jako schopnost odrážet určité spektrální složky světla, které dopadají na předmět. Například pokud budeme ozařovat předmět bílým světlem, dojde k pohlcení části spektra a pak vidíme předměty, tak jak skutečně vypadají.[1]

1.2 Základní barvy

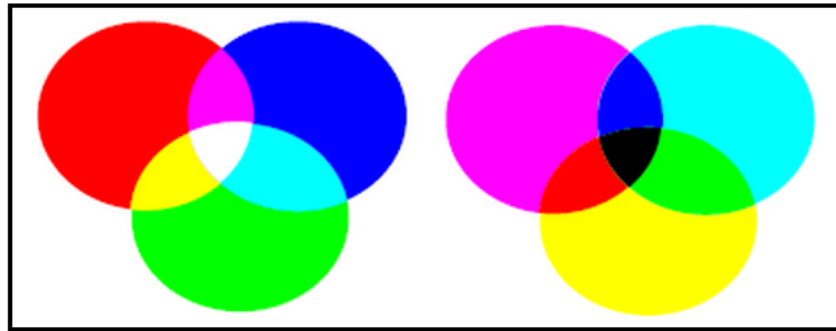
Základní barvy tvoří prostor RGB viz kapitola 1.8.1.

Barvy zobrazeny ve viditelném spektru se nazývají barvami spektrálními. Mísením různých barev, tedy různých vlnových délek vznikají barvy, které nemohu být vytvořeny jednou barvou, se nazývají nespektrální barvy např. bílá, šedá.

1.3 Mísení barev

Požadované barevné světlo může být získáno:

- subtraktivně - požadované barevné světlo se získává z bílého (nepestřejího) světla odfiltrováním určitých spektrálních složek viz obr. 1 vpravo
- aditivním mísením - požadované barevné světlo se získává mísením různého počtu složkových světél. V televizní technice a videotechnice se používá mísení tří složkových světél: červeného, zeleného a modrého viz (Obr. 1) vlevo. [7]



Obr. 1: Aditivní míchání barev a subtraktivní míchání barev [7]

1.4 Odstín (hue)

Odstín barvy odpovídá dominantní vlnové délce, projekci barvy na okraje barevného trojúhelníka, kde jsou spektrální barvy.[4]

1.5 Sytost (saturation)

Sytost barvy popisuje, jak je barva vzdálena od neutrální šedé. Popisuje také, jak je dominantní vlnová délka (odstín) znečištěna jinými vlnovými délkami.[4]

Syté barvy neobsahují bílou složku, jsou to například spektrální barvy. Barvy se sníženou sytostí obsahují bílou složku.[20]

1.6 Jas (value)

Světlost barvy vyjadřuje, jak moc světlá se barva jeví. Je označována termíny "světle modrá", "tmavě červená" atp. Udává se v %, přičemž 100 % znamená bílou a označuje maximální jas. Jas 0 % potom reprezentuje černou. Jas se řadí k achromatickým vlastnostem, jsme ho schopni vnímat nezávisle na barvě. Je třetím určujícím parametrem barvy. Například barva bude buď tmavě a nebo světle červená, ale nebude růžová. Pokud bychom chtěli dosáhnout barvy růžové, museli bychom změnit tón, tzn. změnit vlnovou délku.

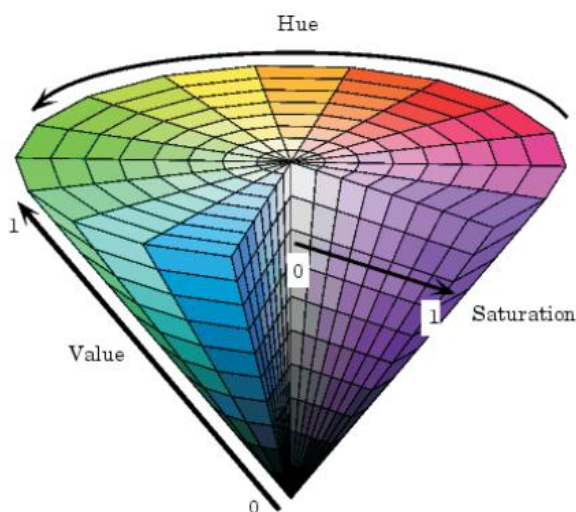
Při definici barevného světla musíme udat kromě jeho tónu ještě dominantní vlnové délky a podíl bílého světla, tedy sytost barvy. Barvy, které mají nulovou sytost, jsou: všechny stupně šedé, bílá a černá. Přibývající sytost znamená úbytek bílého světla ve výsledné barvě, viz (Obr. 2).

Pro přenos barevné scény je zapotřebí u každého obrazového prvku přenášet tři veličiny: jas, odstín barvy a sytost. Změna jasu barvy nemá vliv na změnu jejího odstínu nebo sytosti.

Obecná rovnice neznámého světla je vyjádřena viz vztah (1)

$$A = R(R) + G(G) + B(B), \quad (1)$$

přičemž hodnoty (R), (G), (B) musí být v rozsahu $\langle 0,1 \rangle$ [20].



Obr. 2: Barevné složky HSV [4]

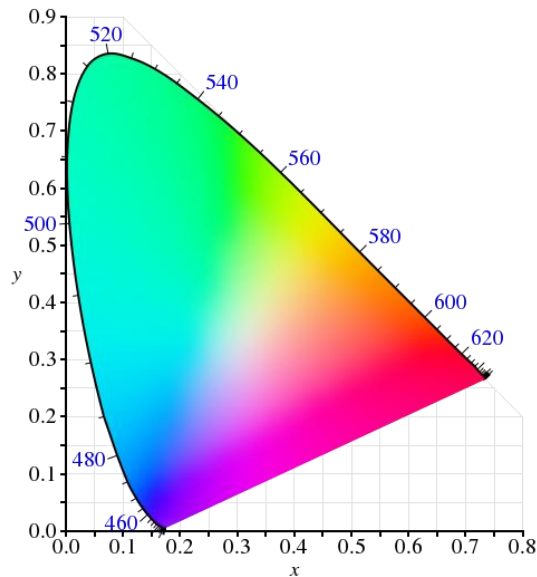
1.7 Barevné modely

1.7.1 CIE

CIE – Commission Internationale de l’Eclairage (Mezinárodní komise pro osvětlování, Laussane, Švýcarsko).

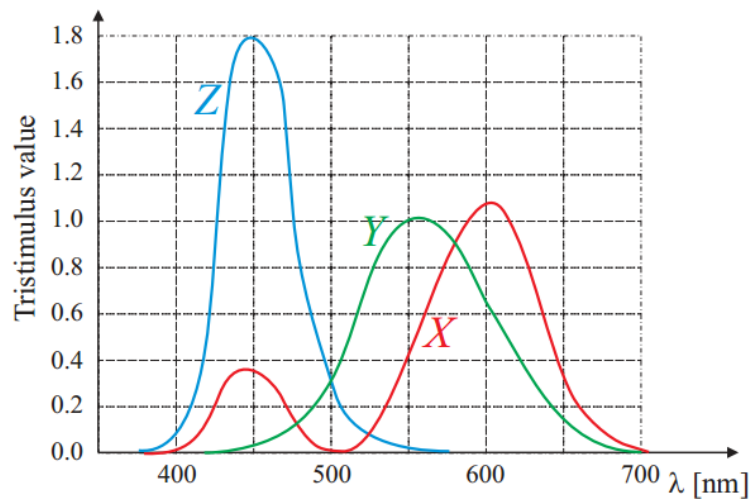
Protože lidské oko má 3 typy senzorů barev, bylo by znázornění všech viditelných barev trojrozměrným diagramem. Koncept vnímání barev ovšem může být rozdělen na 2 části, jas a barvu. Prostor CIE XYZ byl navržen tak, aby parametr Y vyjadřoval jas a barva byla specifikována odvozenými parametry x a y. Všechny tyto odvozené parametry lze spočítat ze všech tří trichromatických složek X, Y a Z. Barevný prostor udaný parametry x a y se nazývá CIE xyY, nebo jen CIE xy (bez parametru jasu). Barevný prostor je znázorněn

chromatickým diagramem, viz Obr. 3. Diagram chromatičnosti je matematickou transformací kolorimetrického prostoru a zobrazuje aditivní vztahy mezi barvami. [3]



Obr. 3: Chromatický diagram CIE XYZ [3]

CIE vytvořila barevný model jako matematickou abstrakci. XYZ souřadnice odpovídají (imaginárním) barvám, jejichž složením podle funkcí vyrovnávajících barvy, aby vznikl vjem odpovídající spektrální barvě, zobrazeny na obrázku (Obr. 4). [4]



Obr. 4: Průběh normovaných spektrálních funkcí x, y a z [4]

Pro chromatický diagram v prostoru XYZ bude analogicky platit vztah, kde X,Y,Z jsou trichromatické a složky x,y,z vyjadřují trichromatické souřadnice, pro které platí následující vztahy (2), (3), (4). [16]

$$X = k \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_{\lambda} \phi_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} d\lambda \quad (2)$$

$$Y = k \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_{\lambda} \phi_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} d\lambda \quad (3)$$

$$Z = k \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_{\lambda} \phi_{\lambda} \bar{z}_{\lambda} d\lambda \quad (4)$$

$\phi(\lambda)$ je vyjádřením spektrální funkce (transmise, remise), $E(\lambda)$ je poměrné spektrální složení světelné energie a k je normalizační faktor, pro který platí, že pokud $\phi(\lambda) = 1$ pak hodnota $Y = 100$ a $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ jsou normované hodnoty trichromatických činitelů. Hodnota rozsahu vlnových délek měřeného pásma je od 380 do 760 nm. Trichromatické souřadnice pak můžeme vypočítat dle vztahu (5), (6). [16]

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (5)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (6)$$

Vzhledem k tomu, že i v CIE soustavě XYZ se jedná o vyjádření pravoúhlého trojúhelníka, platí mezi jednotlivými souřadnicemi stejný vztah jako v prostoru RGB, viz vztah (7). [16]

$$x + y + z = 1 \quad (7)$$

1.7.2 CIE L*a*b*

Barevný prostor L*a*b* je jedním z nejčastěji používaných barevných prostorů pro měření barvy objektu a je používán v mnoha oborech. Tento prostor byl vytvořen ve snaze vyrovnat se s jedním z velkých problémů původního prostoru Yxy, kde stejné vzdálenosti na osách x a y barevného diagramu neodpovídaly vnímanému rozdílu.

V barevném prostoru $L^*a^*b^*$ označuje hodnota L^* jas (světlost nebo tmavost) a hodnoty a^* a b^* jsou souřadnicemi barevnosti. Kladná osa a^* představuje směr do červené, záporná je směr do zelené, kladná osa b^* je směrem do žluté a záporná do modré.

Střed je achromatický. Výhodou tohoto barevného prostoru je současné umístění vzorku a standardního typu, přičemž mezi nimi lze vyjádřit číselnou barevnou diferencí. Ta umožňuje na základě číselného intervalu, ve kterém se pohybuje, vyjádřit shodu či neshodu mezi vzorkem a standardem.[5]

1.8 Barevné prostory RGB & CMYK

1.8.1 RGB

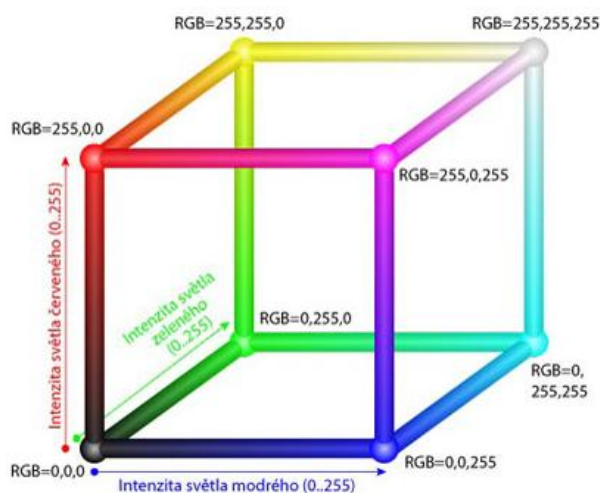
Barevný prostor RGB popisuje míchání tří základních barev červené, zelené a modré.

Vychází z takzvaného aditivního míchání barev, tedy nejde o fyzické míchání barev, ale o míchání tří barevných světél (zdrojů).

RGB prostor lze skvěle zobrazit jako krychli, kde jednotlivé osy x,y a z, odpovídají červenému, zelenému a modrému světlu.

Jednotlivé barvy mohou nabýt intenzity 0 až 255. Na úhlopříčce krychle je potom stav, kdy všechna tři světla svítí na maximum, tedy vytvoří bílou (RGB=255,255,255) viz (Obr. 5).

[8]



Obr. 5: RGB model krychle [8]

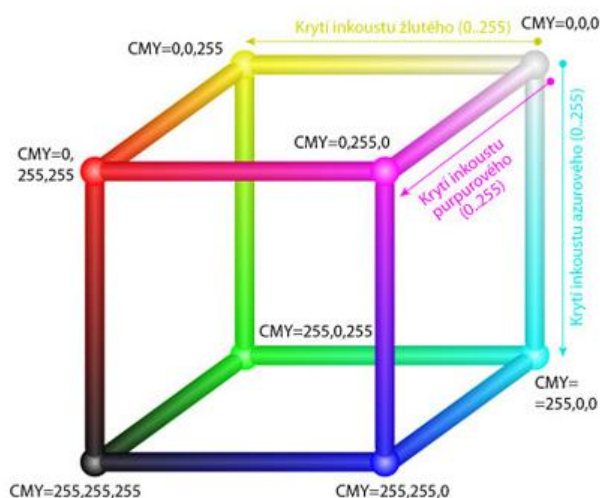
1.8.2 CMYK

Zkratka CMYK stejně jako RGB vyjadřuje názvy základních barev. C - Cyan (azurová), M - Magenta (purpurová), Y - Yellow (žlutá) a K - black (černá).

Barevný prostor lze popsat stejným modelem krychle jako u RGB, jen s tím rozdílem, že hodnoty zastoupení jednotlivých barev jsou inverzní, viz (Obr. 6).

Smícháním všech barev CMY se nikdy nedosáhne dokonale černé barvy, proto se musí přidávat černá zvlášť.

Nejrozšířenější je u tiskáren, kdy k dosažení bílé nepotřebujeme plýtvat barvami. [8]



Obr. 6: CMYK model krychle [8]

1.9 Přístroje pro rozpoznání barevnosti

1.9.1 Kolorimetr

Je to zařízení, které slouží chromatičnosti (barevných vlastností) zdrojů světla. Pasivní přístroj, jenž snímá fotony skrze fotočlánky. Fotočlánky bývají opatřeny filtry, pro odlišení jednotlivých spekter světla (barevných odstínů). [6]

Hodnoty foto proudů jsou pak přímo úměrné trichromatickým složkám X, Y a Z a trichromatická složka Y je rovna osvětlenosti. [7]

Nevýhody – nemá vlastní zdroj světla, použití je tedy velmi omezené.

Příklad technických údajů kolorimetru DR 800:

MODEL	DR890	DR850
Rozsah vlnových délek	420 nm, 520 nm, 560 nm, 610 nm	520 nm, 610 nm
Předprogramované metody	90 HACH metod	50 HACH metod
Zdroj světla	LED dioda	
Detektor	Křemiková fotodioda	
Pracovní režim	Koncentrace, Absorbance anebo Transmittance (%)	
Přesnost vlnové délky	Fixní vlnová délka ± 1 nm	
Šířka pásu	10 nm	
Fotometrická přesnost	$\pm 0,005$ Abs při 1,0 Abs	
Optická dráha kyvet	1" kulaté a 16mm TNT kyvety (s kyvetovým adaptérem)	
Záznam dat	50 měření, výstup IR - RS232 s použitím volitelného adaptéru	
Uživatelské metody	10 uživatelských programů (12 datových bodů každý)	

Obr. 7: Technické údaje kolorimetru [20]

1.9.2 Spektrofotometr

Spektrofotometrie slouží k zjišťování vlastností objektů na základě pohlcování určitých vlnových délek.

Princip spočívá v tom, že spektrofotometr vysílá elektromagnetické záření v určitém spektru vlnových délek a vyhodnocuje přijímaný signál. [6]

Výhody – oproti kolorimetru má vlastní zdroj světla a velkou přesnost.

Příklad technických údajů spektrofotometru DR 3900 VIS:

DR 3900 VIS SPEKTROFOTOMETR PRO ANALÝZU VODY A FOTOMETRICKÉ APLIKACE	
Rozsah vlnové délky	320-1100 nm
Zdroj světla	Wolframová lampa
Šířka spektrálního pásu	5 nm
Přesnost vlnové délky	$\pm 1,5$ nm v rozsahu vlnových délek 340-900 nm
Rozlišení vlnové délky	1 nm
Možnost skenování	s krokem 1, 2 anebo 5 nm (uživatelsky volitelné)
Fotometrická přesnost	5 mAbs v rozsahu 0,000-0,500 Abs 1% v rozsahu 0,500-2,000 Abs
Kompatibilní kyvety	13mm kruhové kyvety 10/20/30/50 mm hranaté kyvety 1 palcové kruhové a hranaté kyvety

Obr. 8: Technické údaje spektrofotometru [20]

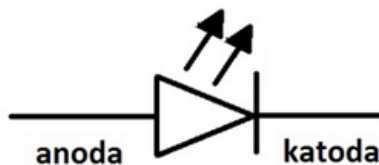
2 ZDROJE SVĚTLA

2.1 LED dioda

LED dioda je polovodičový prvek, který mění elektrickou energii v optické záření, je-li buzen průchodem elektrického proudu. Jedná se o zdroj záření využívající fyzikální jev luminiscence. Ke generování světelného výkonu dochází rekombinací nosičů náboje, které jsou injektovány přes P-N přechod.

Má-li být dioda polarizována v přímém směru, musí dojít působením napětí přiloženého mezi anodu a katodu ke zrušení potenciálové překážky. To znamená, že kladné napětí musí být přiloženo k části s vodivostí typu P a záporné napětí k části s vodivostí typu N. Proto je část P anodou a část N katodou viz (Obr. 7). [1]

Spektrální křivky vyzařovaného světla (barva světelného záření) závisí na šířce zakázaného pásma použitého polovodiče. V současné době jsou na trhu všechny barvy luminiscenčních diod od modré až po červenou, i v infračervené oblasti.



Obr. 9: Schematická značka diody [1]

2.1.1 Výpočet předřadného odporu

Výpočet hodnoty předřadného rezistoru je nutný pro ochranu a prodloužení životnosti LED. Rezistor slouží k nastavení napájecího napětí a proudu. V zásadě platí, že se k LED diodě předřadný rezistor musí dát, aby vymezoval proud, který dioda odebírá. Pokud hodnota vypočítaná hodnota rezistoru není k dispozici (mimo řadu), musí být použity hodnoty vyšší, viz vztah (8).

$$R_V = \frac{(U_{\text{celkové}} - U_{\text{LED}})}{I_{\text{LED}}} \quad (8)$$

2.1.2 Vlastnosti LED

Mají několik důležitých vlastností, které lze považovat za výhodu oproti jiným zdrojům světelného záření.

Geometrické parametry:

- umožňují konstruktérům vytvářet velké množství svítidel různých tvarů, výkonů a rozměrů
- malé rozměry dovolují navrhovat světelné přístroje s vysoce koncentrovaným svazkem světelné energie
- nízké pořizovací náklady

Elektrické a světelné parametry:

- z důvodu malého napájecího napětí není vyžadována ochrana před nebezpečným dotykem
- lze dosáhnout vyššího toku spojením do série
- stejnosměrný provoz umožňuje snadnou regulaci pomocí stávajících prostředků řízení a ovládání osvětlení
- lze modulovat záření napájecím napětím, minimální doba náběhu a rychlá odezva (nanosekundy) bez negativního vlivu na životnost
- barevné LED mají velkou účinnost, protože nepotřebují k dosažení různých barev používat filtry [13]

Diody mohou být zapouzdřeny samostatně, jako bodové či rozptylové zdroje záření.

Výhodou Led diod je nízké pracovní napětí kolem 2V a pracovní proud několik desítek mA, viz (Tab. 1), (Obr. 8). [10]

Parametry LED:

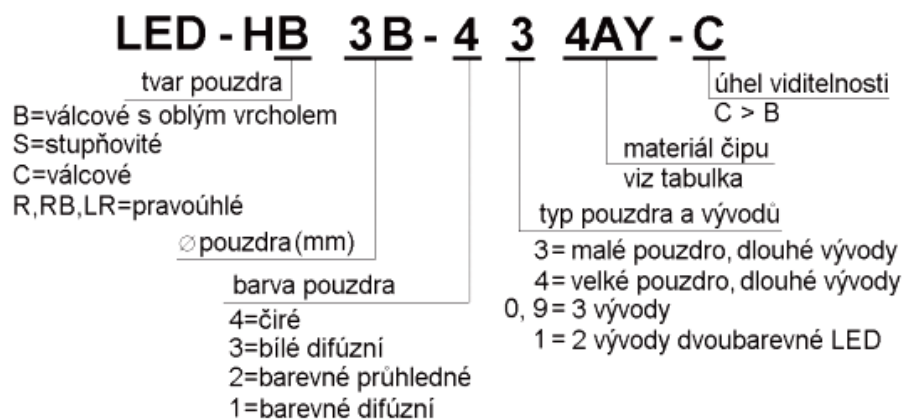
barva světla	λ_p	λ_d	IF	IFM (100 μ s)	UR	UF (IF = 20mA)	
	nm	nm				typ V	maxV
červená	700	658	20	50	5	2.20	2.80
zelená	570	567	25	50	5	2.15	2.80
zelená	575	572	25	50	5	2.20	2.40
tm.zelená	523	525	30	100	5	3.50	4.00
žlutá	589	585	25	50	5	2.10	2.80
žlutá	592	590	25	50	5	2.00	2.40
červená	625	618	30	50	5	2.05	2.80
červená	635	626	25	50	5	2.00	2.50
červená	638	629	30	100	5	2.25	2.60
tm.červená	660	643	30	50	5	1.80	2.40
tm.červená	660	645	25	50	5	1.86	2.50
oranžová	610	606	30	50	5	2.05	2.60
modrá	465	470	30	100	5	3.50	4.00
bílá	--	--	30	100	5	3.50	4.00

Tab. 1: Parametry LED diod [17]

Legenda k tabulce (tab. 1):

- I_f (mA) - proud v propustném směru
- I_{fm} (mA) - impulzní proud (0,1ms) v propustném směru
- U_f (V) - úbytek napětí v propustném směru
- U_r (V) - dovolené napětí v závěrném směru
- λ_p (nm) - vlnová délka světla s maximální intenzitou
- λ_d (nm) - vlnová délka světla vnímané barvy
- I_v (mcd) - intenzita světla

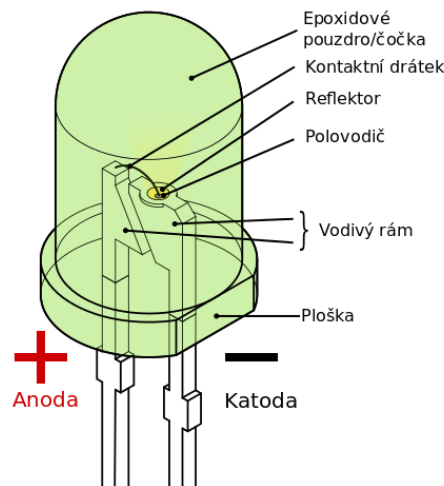
Značení LED diod výrobcem:



Obr. 10: Značení led diod [10]

2.1.3 Konstrukce

Konstrukce diody je naznačena na obrázku (Obr. 9). Pro vytvoření polovodičových přechodů typu PN se používají zejména polovodiče typu $A^{III}B^V$ vysoké čistoty, s malým množstvím vhodných příměsí, které vytvářejí buď přebytek elektronů (materiál typu N), nebo jejich nedostatek, a tedy přebytek děr (materiály typu P). V místě, kde se stýkají polovodiče obou typů, vzniká tzv. přechod PN. Přiložením stejnosměrného napětí správné polaritě na tento přechod dojde ke vzájemnému přibližování elektronů a děr k místu kontaktu a k jejich rekombinaci. Při rekombinaci každého páru elektron-díra se uvolní určité kvantum energie, která se může vyzářit mimo krystal. Elektrická energie se tak mění přímo na světlo určité barvy. [13]



Obr. 11: Ukázka vnitřní struktury LED diody [12]

2.2 Laserová dioda

Laserová dioda, neboli polovodičové lasery jsou novými typy zdrojů optického záření, které využívají rekombinace nosičů, kdy při vysoké proudové hustotě převažuje koherentní složka záření. Fungují na principu injekce elektronů a děr v silně dotovaném polovodiči.

Při vytváření koherentních svazků má oblast PN přechodu větší index lomu (je opticky hustší), záření se nerozptyluje do okolí PN přechodu.

Klasické LED světlo a světlo laserové se liší typem generovaného světla. V laserových diodách je světlo generováno emisí stimulovanou, zatímco v LED diodách se světlo generuje emisí spontánní.

2.2.1 Typy a struktura

Může být tvořena dvěma vrstvami přechodu P a N stejného materiálu - homopřechod - stejně jako u klasických diod nebo může být tvořena strukturou s více vrstvami různých přechodů a polovodičového materiálu, které jsou nazývány heteropřechody. Dále se dělí na laserové diody s rozprostřenou zpětnou vazbou a s kvantovými jámami. Podle toho jak laserové diody vyzařují laserové světlo, mohou být buďto hranově vyzařující laserové diody nebo plošně vyzařující. Jednotlivé typy a struktury laserových diod mají různé parametry, takže pro různé typy je i rozdílné využití. Některé mají účinnost vyšší, jiné zase nižší, což se odvíjí od ztrát způsobených konstrukcí nebo odlišnou strukturou. [9]

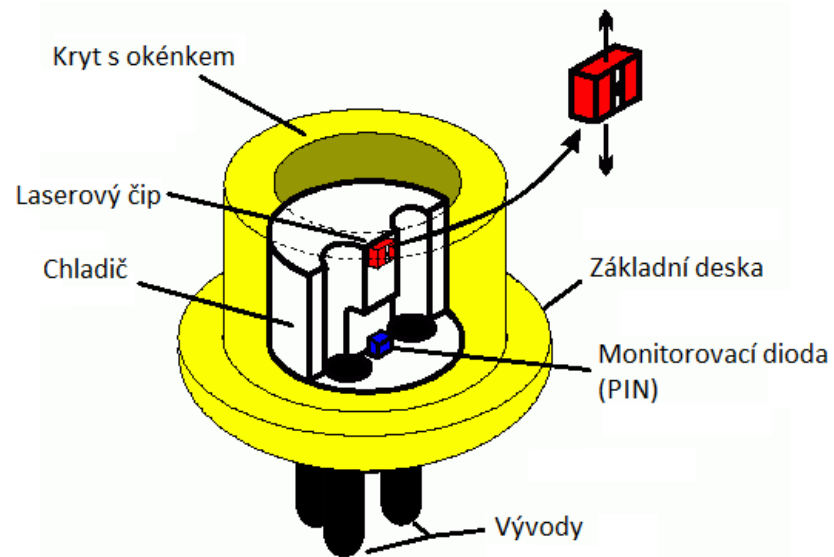
Laserové světlo a světlo LED (Light-emitting diode) se liší právě v typu generace světla. V LED je světlo generováno spontánní emisí, zatímco v laserových diodách a laserech obecně je generováno emisí stimulovanou. Je to proces, při kterém se na emisi fotonu podílejí i vnější jevy. Musí dojít tedy ke stimulaci energetického systému.

2.2.2 Parametry

Jedním z mnoha důležitých parametrů laserových diod je jejich vyzařovací spektrum. Vyzařovací spektrum udává, jaké vlnové délky laserová dioda bude vyzařovat. Při výběru laserové diody mnohdy rozhoduje samotné spektrum laserové diody, protože každá aplikace či zařízení vyžaduje jiné vyzařované spektrum. Spektrum je dané strukturou diody a použitými materiály. Ze struktury diody to je optický rezonátor, který zesiluje dané vlnové délky a materiál určuje energetické pásy polovodičového laseru, tedy i vlnovou délku stimulovaného laserového záření. [15]

2.2.3 Konstrukce

Pouzdro laserové diody se skládá ze základní desky, laserového čipu a monitorovací diody (PIN) viz (Obr. 10). Většina pouzder těchto diod obsahují odrazné zrcátko a čočku, která soustředí vycházející paprsek. Hojně využívané u optických vláken (telekomunikace).



Obr. 12: Pouzdro laserové diody [15]

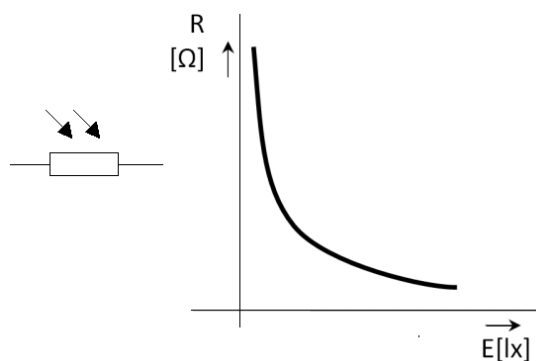
U laserových diod může světlo vycházet z laserového čipu dopředu i zpět, této vlastnosti se využívá pro měření optického výkonu.

3 POLOVODIČOVÉ SENZORY FOTOELEKTRICKÉ

Polovodičové senzory s přechodem PN jsou používány typu fotorezistor, fototranzistor, fotodioda, fototyristor a fotočlánek, vypsány jsou pouze základní. Fotoelektrický jev je dán dopadem světelného záření do bezprostřední blízkosti přechodu PN, vyniká tak na výstupu napětí úměrné osvětlení. [2],[3]

3.1 Fotorezistor

Pro dosažení většího odporu součástky má polovodičová vrstva tvar meandru. Pouzdro je oproti klasickému rezistoru upraveno tak, aby na citlivou vrstvu mohlo dopadat světlo (záření). Za temna je odpor součástky velmi vysoký ($10^6 - 10^9 \Omega$). Osvětíme-li citlivou vrstvu, dochází ke zmenšení odporu fotorezistoru. Závislost odporu na osvětlení je přibližně logaritmická, viz Obr. 12. Při osvětlení několik set luxů je odpor fotorezistoru pouze set ohmů. [1]



Obr. 13: Schematická značka a závislost odporu na osvětlení [1]

výhody:

- velká citlivost
- nízká cena a snadné použití
- může se aplikovat ve stejnosměrných i střídavých obvodech

nevýhody:

- dlouhá doba odezvy
- velká teplotní závislost odporu
- stárnutí fotorezistoru

3.2 Fototranzistor

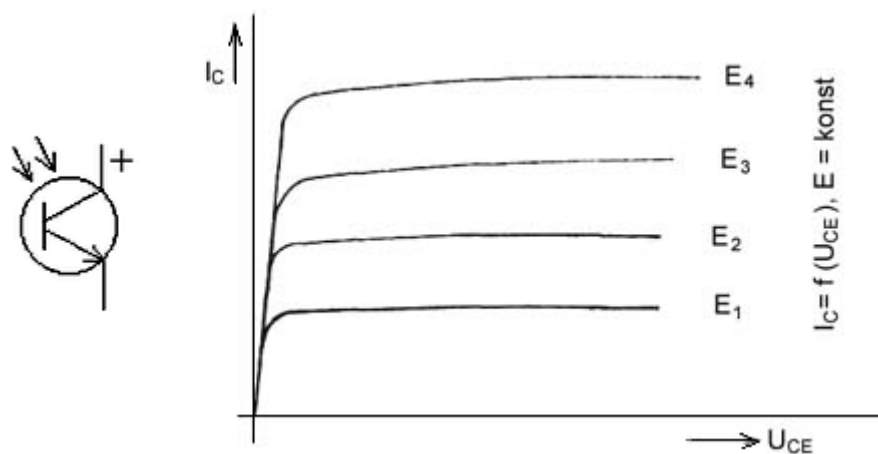
Fotoelektrický snímač generátorového typu (aktivní snímače). Působením světelného toku na citlivou plochu snímače vzniká na jeho výstupu napětí úměrné osvětlení. [14]

Proud vzniklý v důsledku absorpce dopadajícího záření je zesílen tranzistorovým jevem. Konstrukčně je uspořádán tak, aby maximum záření bylo absorbováno v oblasti báze.

Proudová citlivost fototranzistorů je o jeden až dva řády větší než u fotodiody, ale mají horší dynamické vlastnosti (doba odezvy je řádu jednotek až desítek μs). Křivka spektrální charakteristiky je obdobná jako u fotodiody. Fototranzistor je nejběžněji používaný fotoelektrický snímač pro měření světla. [15]

V porovnání s fotodiódou jsou fototranzistory citlivější na osvětlení, neboť využívají navíc tranzistorový jev pro zesílení proudu vyvolaného osvětlením přechodu báze – kolektor.

- emitorový průchod je otevíráný osvětlením
- počet uvolňovaných nosičů náboje se zvyšuje úměrně se světlem
- zesílení proudu nastává jako u bipolárního tranzistoru



Obr. 14: Schematická značka a výstupní charakteristika fototranzistoru [2]

3.3 Fotodioda

Fotodioda je plošná polovodičová součástka konstruována tak, že světelný tok vstupuje rovnoběžně nebo kolmo na přechod PN. Pro hodnocení vlastností fotodiody jsou používány charakteristiky, z těch nejnámějších např. voltampérová, frekvenční a časová. [2]

Pokud není přechod fotodiody osvětlen, má voltampérová charakteristika stejný průběh jako klasická dioda.

Největší rozdíl mezi osvětleným a neosvětleným stavem pozorujeme při polarizaci diody ve zpětném směru (3. kvadrant), kdy dochází k téměř lineárnímu růstu proudu I_D při rovnoměrném zvětšování osvětlení. Dioda se v těchto podmínkách chová jako pasivní součástka, jejíž odpor je závislý na osvětlení (odporový režim činnosti diody). [1]

Pro voltampérovou charakteristiku platí vztah:

$$I = I_n \left(e^{\frac{U_d}{k \cdot T}} - 1 \right) - I_f [A] \quad (9)$$

kde:

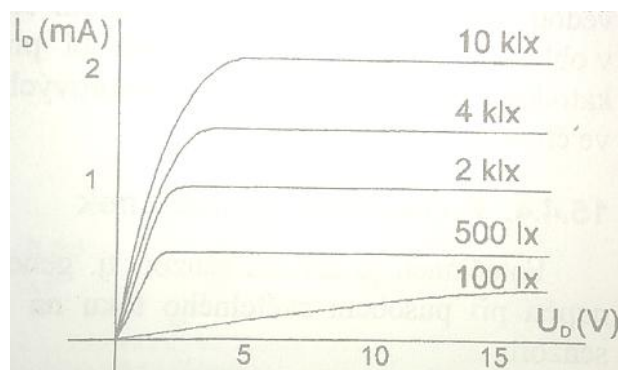
I_n nasycený proud neosvětleného přechodu PN za tmy

I_f proud osvětleného přechodu PN

U_D napětí na přechodu PN

k Boltzmannova konstanta

T absolutní teplota



Obr. 15: Voltampérová charakteristika fotodiody [2]

výhody fotodiody:

- velká citlivost na světlo
- dobrá mechanická odolnost
- malé rozměry
- nízké provozní napětí

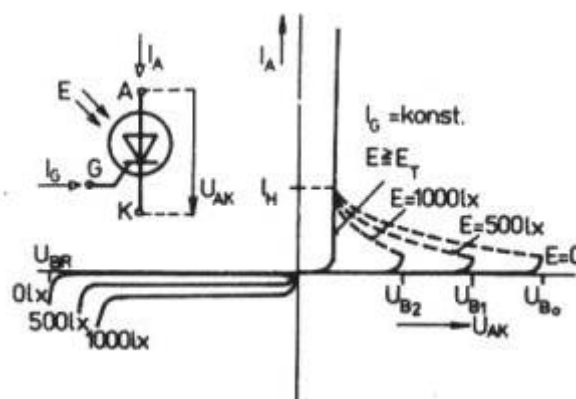
nevýhody fotodiody:

- velký proud při nedostatku světla
- citlivost na teplotu ovlivňující zkreslení
- malá časová stálost

3.4 Fototyristor

Čtyřvrstvá struktura PNPN fototyristoru je umístěna v pouzdru s průhledným okénkem, které umožňuje, aby do oblasti přechodu J2 mohlo pronikat světlo. Součástka má vyvedenou řídicí elektrodu G a za temna má stejné vlastnosti jako běžný tyristor řízený proudem.

Kdybychom nastavili určitý řídicí proud I_G a měnili osvětlení, zjistili bychom, že blokovácí napětí U_B se při zvětšování osvětlení zmenšuje. Situaci zachycují voltampérové charakteristiky na obr.. Důležitou veličinou je tzv. spínací osvětlení E_T , při kterém mizí blokovácí schopnost fototyristoru při napětí $U_{AK} > 0$. Je zřejmé, že velikostí proudu I_G je možné řídit citlivost fototyristoru na velikost osvětlení, při kterém fototyristor spíná, viz (Obr. 14). [1]



Obr. 16: Voltampérové charakteristiky fototyristoru [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem práce je navrhnout a následně realizovat laboratorní úlohu určenou pro měření absorpce světelného záření barevnými roztoky. Experimentální úloha se bude používat v laboratorních cvičeních předmětu Senzory, který je vyučován na Fakultě aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Předmět je zaměřen na výuku nejpoužívanějších principů využívaných u senzorů.

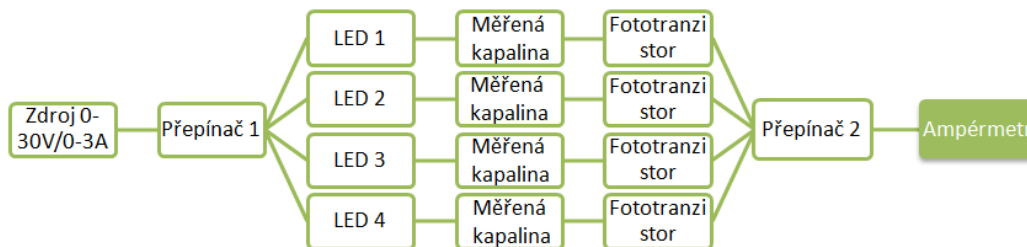
Studenti pomocí měření vyhodnotí absorpci elektromagnetického záření ve viditelné oblasti v barevných roztocích s různými koncentracemi barvicí látky.

Protože se tento obor rychle rozvíjí, je nutné aktualizovat sestavy laboratorních úloh a taky přizpůsobovat zadání jednotlivým požadavkům. Součástí tedy bude i výše uvedená úloha pro měření absorpce světelného záření. Naměřené hodnoty budou studenti schopni zpracovat a vyhodnocovat podle charakteristik.

Požadavky na vytvoření laboratorní úlohy byly konzultovány s vedoucím práce a následně stanoveny na jednoduchost provedení a možnost rozšíření úlohy.

5 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY A VÝBĚR SOUČÁSTEK

Prvním z návrhů byl vytvořen obvod v podobě blokového schématu zobrazen na obrázku (Obr. 15), které je vytvořeno v grafickém editoru. Bude sloužit jako předloha, podle které se bude celá úloha odvíjet.



Obr. 17: Blokové schéma experimentální úlohy

O napájení paralelně zapojených LED diod a fototranzistorů se bude starat regulovatelný zdroj s parametry 0-36V/0-3A. Po připojení zdroje budou napájeny oba obvody, stačí otáčet přepínači na zvolené pozice jednotlivých LED.

Výše zmíněné LED diody a fototranzistory, bude nutné přepínat mezi sebou přepínači, aby bylo měření možná co nejpřesnější.

Bude za potřebí podstavce, do kterého se budou umísťovat kyvety s barevnými roztoky. Podstavec by měl být navržen tak, aby sloužil i pro upevnění LED a fototranzistorů, dále by do něj nemělo dopadat nežádoucí světelné záření.

Jako základnu pro uchycení všech periferií bylo nutné zvolit univerzální stavebnici, kterou by bylo možné jednoduše rozšiřovat a upravovat v případě potřeby. Úloha se připravuje do laboratoře, ve které se již některé renovované úlohy nacházejí, proto byla zvolena stejná experimentální kovová deska od firmy Merkur o rozměrech 250x170x20mm. Jde o lakovanou kovovou desku s vyvrtanými otvory pro snadné uchycení jednotlivých součástí.

Pro celou sestavu se základna musí vytvořit ze dvou kovových desek, které tvoří písmeno “L“ viz (Obr. 34, 35).

5.1 Výběr polovodičových součástek

V prodeji je velká spousta světelných zdrojů a k nim náležitých senzorů k jejich měření.

Pro výběr takových součástek, bylo nutné si stanovit priority, podle kterých by se vybíralo. Konzultací s vedoucím bakalářské práce bylo dospěno k závěru, stanovit priority na jednoduchost provedení, cenu a snadné výměny součástek.

Dle požadavků laboratorní úlohy byly vybrány následující polovodičové součástky:

- Zdroj světla – LED dioda
- Senzor pro měření – fototranzistor

LED diody a fototranzistory s odolným pouzdem, nízkou cenou a běžnou dostupností v obchodech s elektrotechnikou. Důraz byl kladen na číré provedení pouzder a stejné, nebo podobné rozměry.

5.1.1 LED diody

Jak již bylo řečeno v kapitole 2.1, LED diody patří mezi nejběžněji používané zdroje světla nejen v domácnostech, ale i ve většině průmyslových odvětví, kde například nahrazují „zastaralé“ wolframové žárovky.

Zvolené LED diody vyrábí firma Huey Jann nesoucí označení HB5-436HOR. LED diody jsou vyráběny s vyzařováním od ultrafialového, přes různé barvy viditelného spektra, až po infračervené záření. Pro experiment byly vybrány 4 základní barvy LED, nesoucí označení super jasné. Vzhledem k velikosti květ, ve kterých se budou nacházet měřené vzorky kapalin, byly vybrány diody o průměru 5mm. Dalším z neméně podstatných faktorů byla nutnost zvolit číré pouzdra LED z důvodu možného zkreslování měření.

- Červená LED: $\lambda_p = 625\text{nm}$, $U_f = 2,1\text{V}$, $I_f = 20\text{mA}$
- Žlutá LED: $\lambda_p = 589\text{nm}$, $U_f = 2,3\text{V}$, $I_f = 20\text{mA}$
- Zelená LED: $\lambda_p = 525\text{nm}$, $U_f = 2,2\text{V}$, $I_f = 20\text{mA}$
- Modrá LED: $\lambda_p = 468\text{nm}$, $U_f = 3,2\text{V}$, $I_f = 25\text{mA}$

Z obecného vztahu, který je uveden v kapitole 2.1.1:

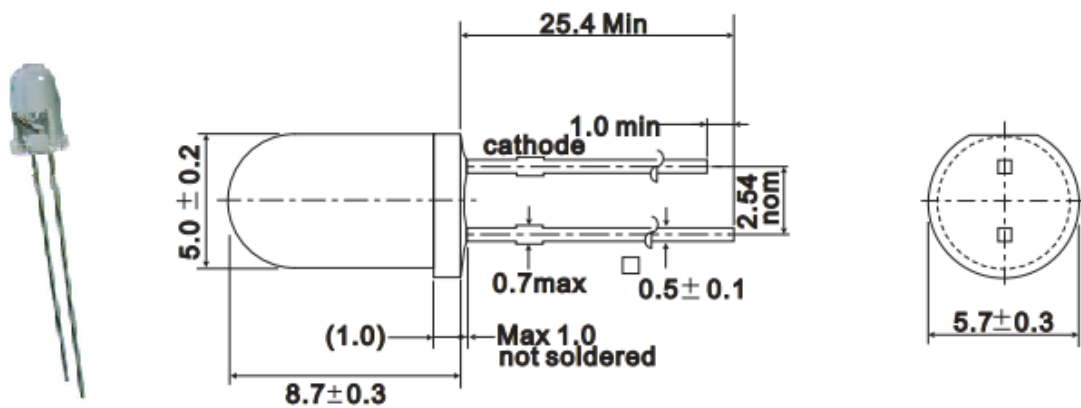
$$R_V = \frac{(U_{\text{celkové}} - U_{\text{LED}})}{I_{\text{LED}}} \quad (10)$$

Byly vypočítány hodnoty předřadných odporů. V případě, že se hodnoty nenacházely v normalizované řadě, byly zaokrouhleny směrem nahoru, viz (Tab. 2).

Led dioda	Ucelkové [V]	U led [V]	I led [A]	Rv [Ω]
ČERVENÁ	15	2,1	0,02	645
ŽLUTTÁ	15	2,3	0,02	635
ZELENÁ	15	2,2	0,02	640
MODRÁ	15	3,2	0,025	472

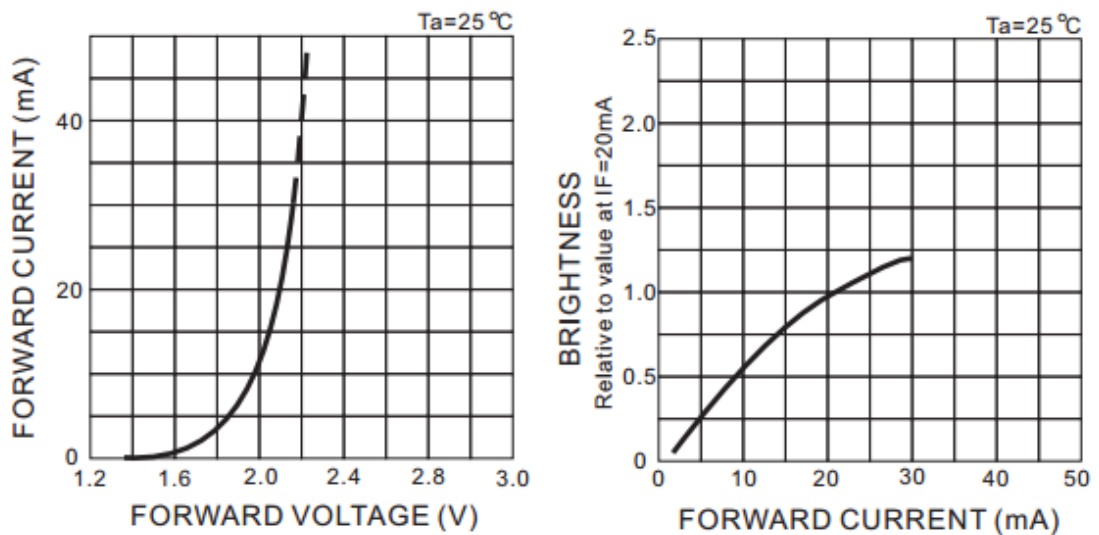
Tab. 2: Hodnoty předřadných odporů LED

Vzhled pouzdra a konstrukce LED diody (Obr. 16).



Obr. 18: Vzhled a rozměry LED diody [17]

Závislost proudu na napětí a jasu na proudu viz (Obr. 17)



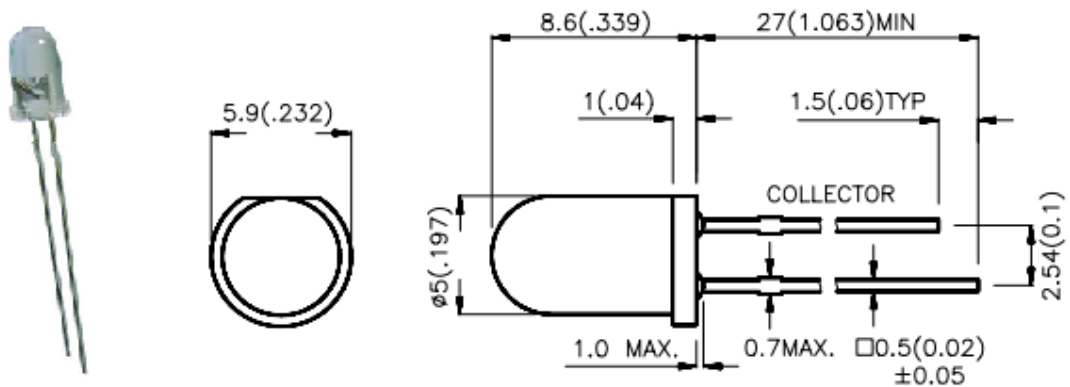
Obr. 19: Charakteristiky LED [17]

5.1.2 Fototranzistory

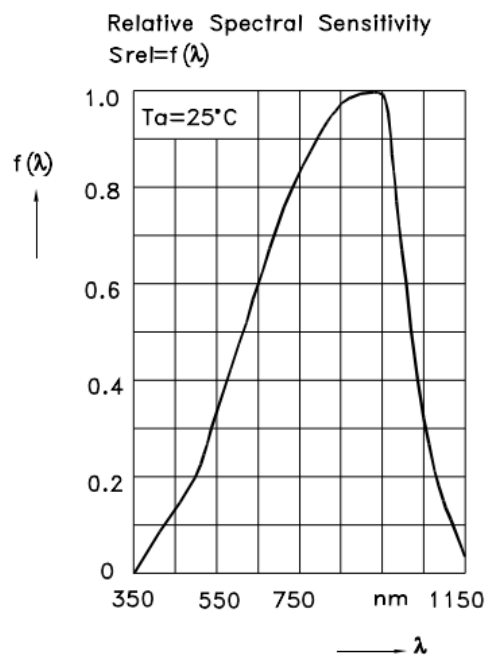
Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce byl vybrán fototranzistor z důvodu zesilování proudu tranzistorovým jevem, který zapříčiňuje větší citlivost na světlo (kapitola 3.2).

Zvolené fototranzistory vyrábí firma Kingbright nesoucí označení L-53P3C. Mají velký rozsah vlnových délek pro dopadající záření, viz (Obr. 19). Tento rozsah pokryje všechny námi používané spektra, jsou tedy všechny čtyři stejné.

Fototranzistory jsou uloženy ve stejných pouzdrech, jako LED diody pro větší přesnost měření viz (Obr. 18).



Obr. 20: Vzhled a rozměry fototranzistoru [17]



Obr. 21: Charakteristika fototranzistoru [17]

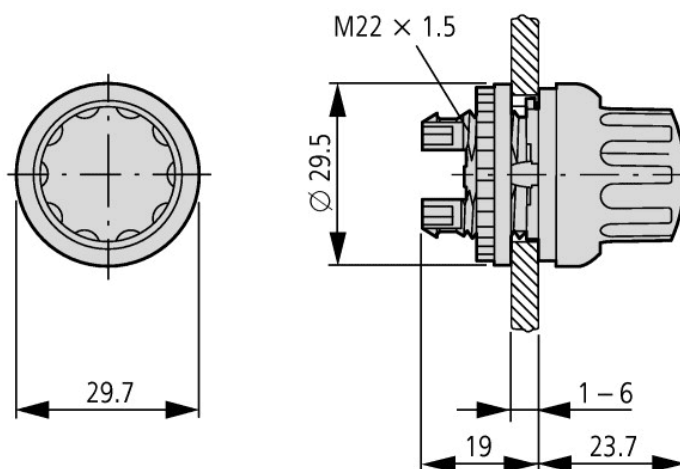
5.2 Výběr přepínačů

Jedním z důležitých parametrů přepínače je počet poloh, od kterého se následně odvíjí možnost použití pro danou věc. V našem případě potřebujeme přepínat (ovládat) čtyři LED.

Internetové a kamenné obchody moc takových přepínačů nenabízí, nakonec se našel osmi polohový, se čtyřma použitelnými polohami viz (Obr. 21). Přepínač je mechanický, o zapínání a vypínání se starají kontaktní prvky (Obr. 22), kde jsou na svorky připojeny kabely s napájením.

Přepínač vyrábí firma Eaton Electric, modelové je M22-WR4 s následujícími parametry:

- Osmi polohový otočný přepínač, viz (Obr. 21)
- Standart přepínače 22mm
- Stupeň krytí IP66
- Pracovní teplota $-25 \sim 70^{\circ}\text{C}$
- Rozměry montážního otvoru s průměrem 22,5mm



Obr. 22: Rozměry přepínače [18]



Obr. 23: Vzhled přepínače a polohy přepínače [18]

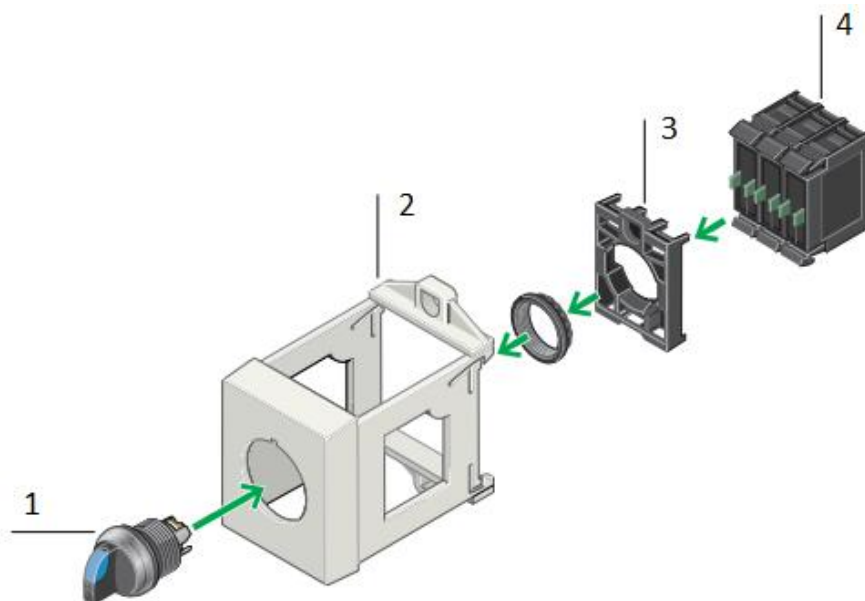
Kontaktní prvek potřebuje dvě polohy, jedno otočení obvod spojí a druhé přeruší. Proto je možné využít pouze čtyři polohy. Existují i kontaktní prvky, které dokážou ovládat i více obvodů současně.



Obr. 24: Kontaktní prvek [18]

Pro běžnou funkčnost přepínače je potřeba následující, viz (Obr. 23):

- 1) Přepínač, v našem případě M22-WR4
- 2) Krabíčka pro uchycení, upravená IP44 T2
- 3) M22-A4U upevňovací adaptér pro 4prvky M22
- 4) M22-K10 kontaktní prvek zapínací se šroubovými svorkami

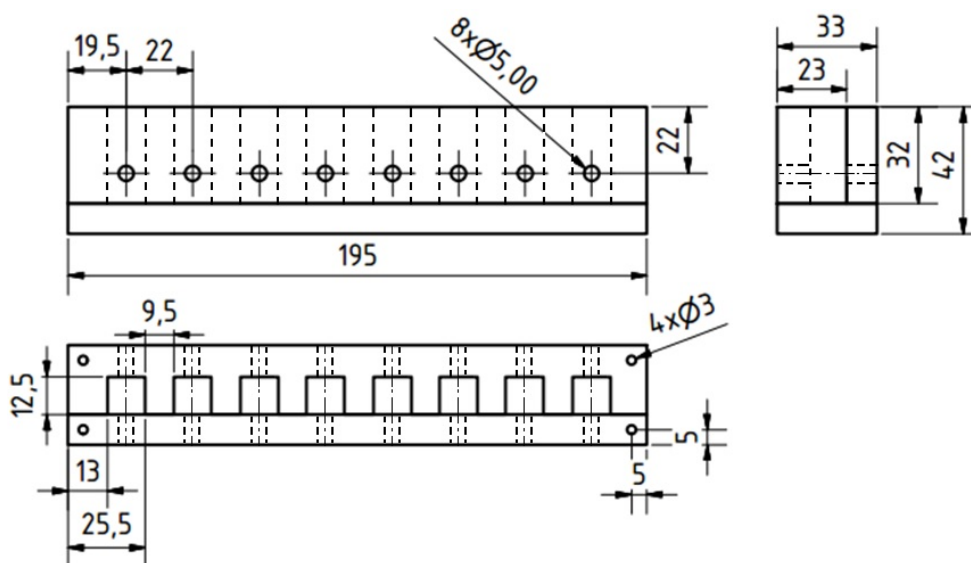


Obr. 25: Seznam součástí [18]

5.3 Návrh a výroba podstavce

Pro uchycení LED diod, fototranzistorů a možnost vyměňování kyvet s měřenou kapalinou, bylo nutné navrhnout a zhotovit podstavec, viz (Obr. 24). Podstavec jsem navrhoval v programu Autodesk Inventor, volba rozměrů byla předem konzultována s vedoucím bakalářské práce.

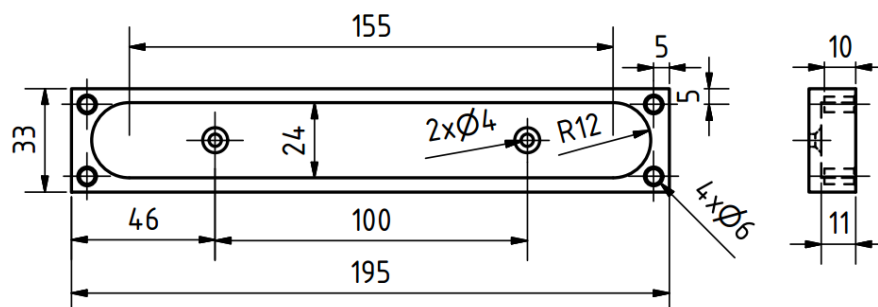
Pro nejlevnější řešení byl vybrán dřevěný materiál, konkrétně dub. Podstava je vyrobena a slepena ze tří částí, tato varianta se jevila jako nejjednodušší a nejméně náročná pro výrobu. V hranolu velikosti 23 x 32 mm jsem vyfrézoval drážky o velikosti 12,5 x 12,5 mm pro vkládání kyvet. Lepené plochy všech tří hranolů byly natřeny speciálním lepidlem na dřevo, složeny dohromady a upevněny ve svěráku dokud lepidlo nezaschlo. Do podstavce byly navrtány díry na stojanové vrtačce, je tedy zaručeno, že LED dioda svítí přímo na fototranzistor skrz měřené roztoky. V posledním kroku zbývalo předvrtat díry pro upevňující šrouby ke kovové desce.



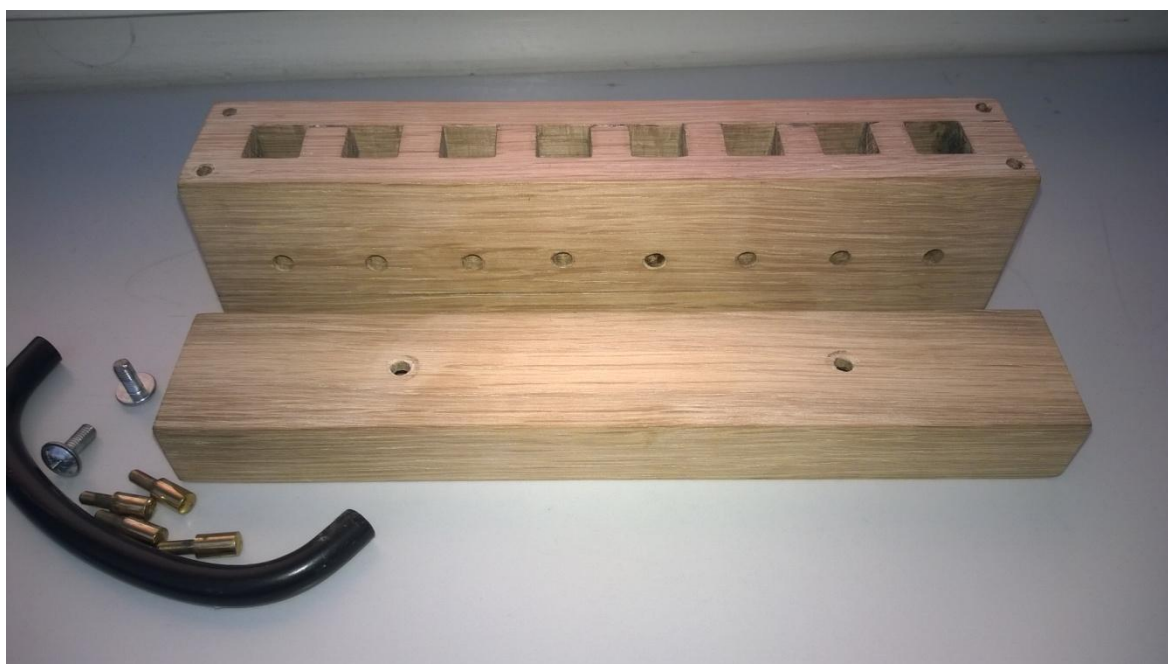
Obr. 26: Rozměry podstavce

Jelikož by se nemělo dostat nežádoucí okolní světlo do kyvet, musel jsem také vyrobit krytku podstavce. Krytka je vyrobena ze stejného materiálu i stejným postupem jako je vyroben podstavec. Protože kyvety z podstavce trčí ven, bylo nutné vyfrézovat drážku pro jejich ukrytí, viz obr. 25, obr. 27.

Na hranách obdélníkové krytky jsou vyvrtány díry, pro čepy, které vymezují možnou manipulaci. Dále je krytka osazena madlem pro snadnější zacházení (Obr. 26).



Obr. 27: Rozměry krytky podstavce



Obr. 28: Podstavec a krytka kyvet

Na obrázku je vidět krytka s drážkou pro kyvety, vyvrtanými otvory pro vymezení umístění k podstavci a otvory pro přišroubování madla (Obr. 27).



Obr. 29: Krytka podstavce

Z důvodu vizuální a vzhledové stránky bylo dřevo nastříkáno sprejem stříbrné (kovové) barvy, která lépe zapadá do prostředí laboratoře (Obr. 28).



Obr. 30: Finální podoba podstavce a krytky kyvet

5.4 Úprava krabičky přepínačů

V sortimentu obchodů nabízených krabiček pro povrchovou montáž výrobci označenými jako příbuzné výrobky jsem nemohl najít krabičku, do které by se vešly 2 x 4 kontaktní prvky vedle sebe. Krabičky od stejného výrobce jako jsou přepínače, nabízely jen takové, do kterých se vedle sebe vejdou pouze tři kontaktní prvky například M22-I2.

Naskytla se možnost renovovat krabičku IP 44 T2, která měla o něco větší průměr otvorů a nežádoucí výlisky na spodní straně krabičky. Průměr otvorů byl vyřešen vysoustruženými podložkami, do kterých se navrtaly díry na požadovaný rozměr, viz (Obr. 29). Výlisky jsem byl nucen upravit frézováním, tak aby měli kontaktní prvky dostatek prostoru pro protahování vodičů.



Obr. 31: Upravená krabička pro povrchovou montáž IP 44 T2

Povrch krabičky nevypadal nejlíp, bylo nutné jej opískovat a znovu nabarvit. Pro nabarvení byl zvolen sprej s černou matnou barvou, která se hodí k lesklým podložkám a celkově budí pěkný dojem (Obr. 30).

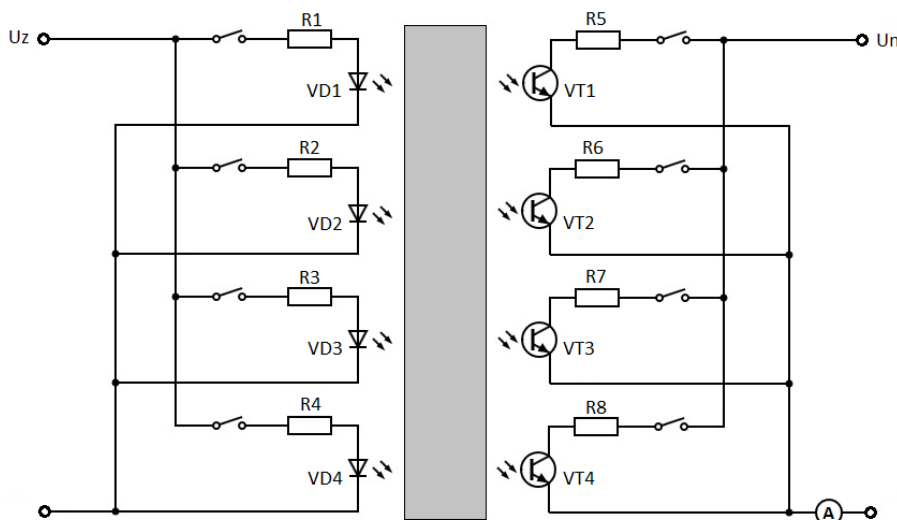


Obr. 32: Výsledný vzhled krabičky pro povrchovou montáž

6 REALIZACE EXPERIMENTÁLNÍ ÚLOHY

Po úspěšném vybrání součástek potřebných k sestavení se bude následující kapitola zabývat realizací samotné úlohy.

Z blokového schéma, viz (Obr. 15), se muselo sestavit finální schéma obvodu zapojení, podle kterého se postupovalo při realizaci. Zdroj světla je napájen napětím $U_z = 15V_{SS}$, předřadné odpory LED diod R_1, R_2, R_3 jsou shodné, zaokrouhleny na normalizovanou hodnotu 680Ω a R_4 je roven 560Ω . Jednotlivé předřadné odpory v obvodu nastaví proud tekoucí přes LED diodu na velikost dostatečné intenzity svitu přes roztok. Obvod fototranzistorů tvoří napájecí zdroj $U_n = 15V$. Fototranzistor ovlivňuje tok proudu přes rezistory R_5, R_6, R_7 a R_8 , které mají taktéž stejnou hodnotu a to 1200Ω . Na výstupu je nakonec sériově zapojen ampérmetr.



Obr. 33: Obvod zapojení

Ze schématu vyplývá, že LED diody a fototranzistory jsou připojeny každý k jednomu přepínači. Bylo nutné udělat dva samostatné obvody, jelikož LED diody mají společné kladné napájecí napětí a fototranzistory záporné napájecí napětí, docházelo k uzavření obvodu a pokud dopadalo na aktivní fototranzistor světelné záření, svítily všechny diody.

Pro přepnutí LED se musí otáčet 1. přepínačem a 2. přepínačem se musí přepnout na patřičný fototranzistor, polohy na přepínačích jsou nastaveny shodně a jsou popsány.

Mezi těmito dvěma obvody jsou kyvety s připravenými roztoky a na výstupu fototranzistorů je sériově připojen ampérmetr. K ampérmetru jsou vyvedeny všechny fototranzistory, došlo tak k usnadnění o které je postaráno manuálním otáčením 2. přepínač.

Po navrhnutí a zhotovení podstavce, na kterém drží i LED diody a fototranzistory, viz kapitola 5.3.

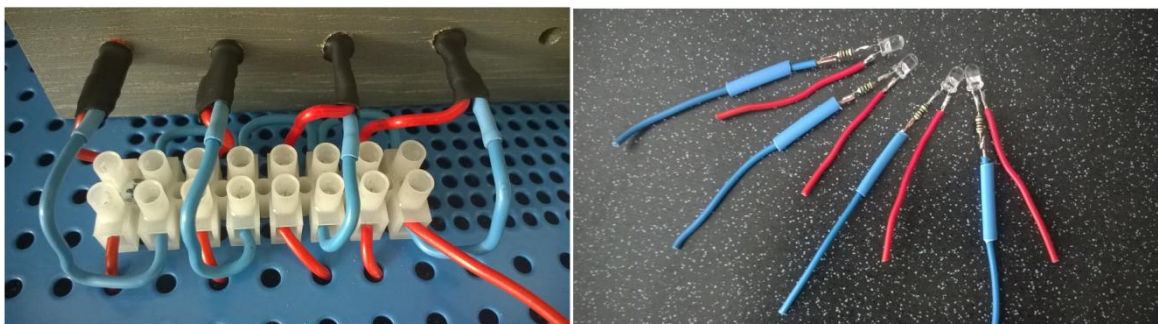
Dalším krokem bylo navržení rozmístění součástí, tak aby se dali snadno a rychle měnit poškozené kabely, případně polovodičové součástky. Jelikož jedním ze základních aspektů byla možnost rozšíření, podstavec byl tedy navrhnout a vyroben pro 8 pozic (kyvet) viz kapitola 5.3.

Po rozvržení a rozmístění součástek je bylo nutné upevnit, tedy přišroubovat ke kovové desce. V dalším kroku byly změřeny délky vodičů a následně nastříhány, když bylo vše připraveno, začalo se s pájením rezistorů k diodám a fototranzistorům. Hodnoty rezistorů pro diody byly vypočítány, viz tabulka 2 a pro fototranzistory byly zvoleny hodnoty 1K2 Ω . Vše je zobrazeno na obrázku (Obr. 28), kde je na anodu diody připájen rezistor a vodič (Obr. 32).



Obr. 34: LED dioda s napájeným předřadným odporem

Na obrázku č.33 je vidět, že jsou fototranzistory oproti diodám zapojeny obráceně, dochází tak k zesílení proudu a měření bude efektivnější. Vodiče, které vedou od přepínače, jsou protaženy otvory kovové desky, jsou schovány z důvodu úspory místa. Diody i fototranzistory jsou po zapájení stáhnuty kabelovou spojkou.



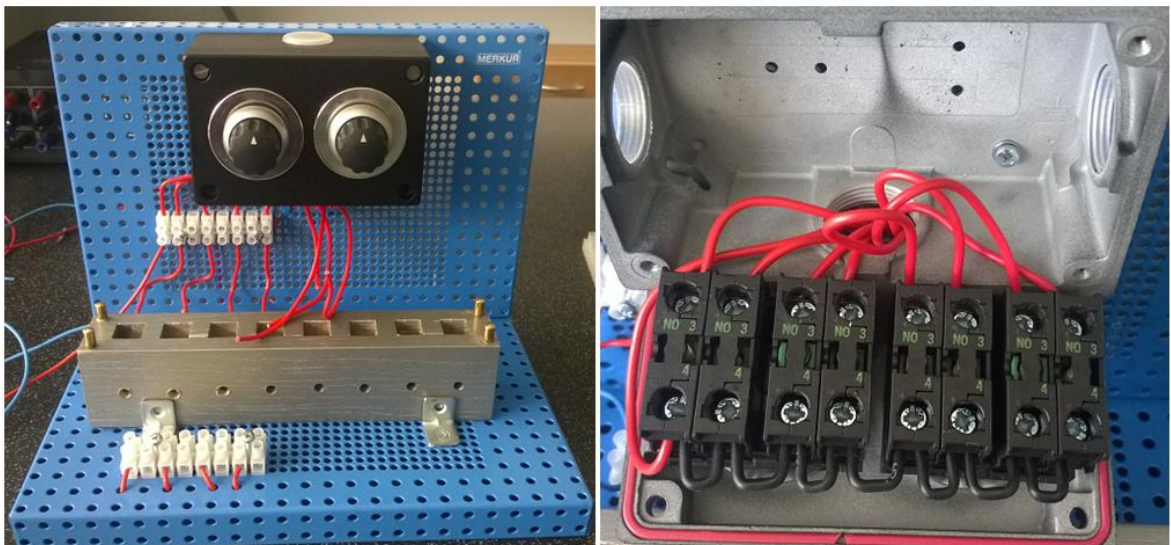
Obr. 35: fototranzistory s napájeným rezistorem a vodiči

Na základě rozmístění svorkovnic a podstavce, se mohlo přejít k samotnému propojování. Na svorkovnici nacházející se hned pod přepínači, viz (Obr. 34), bylo přivedeno kladné napájecí napětí ze zdroje, vodič je připojen na svorky kontaktního prvku a následně propojen s ostatními viz (Obr. 35).



Obr. 36: Zapojení LED ke svorkovnicím

Osazení experimentální desky a zapojování přepínače (Obr. 35).



Obr. 37: Rozmístění součástek, kabeláže a zapojení kontaktních prvků

První čtveřice kontaktních prvků slouží k přepínání jednotlivých LED diod (přepínač 1) a druhá čtveřice k přepínání fototranzistorů (přepínač 2) viz (Obr. 36). Zapojení je realizováno dle výše navrhnutého obvodu zapojení (Obr. 31).

V Laboratoři – Mokrých procesů, která je součástí FAI, byly namíchany roztoky kapalin, viz tab. 3 obr. 37, dle přesně stanovených koncentrací. Pro představu co vyjadřují jednotky ppm, platí: 1ppm=0,1%, viz (Tab. 3).

Roztok	Koncentrace							
$Cr_2(SO_4)_3$ (Síran chromitý)	0,13 [%]	0,25 [%]	0,35 [%]	0,50 [%]	0,75 [%]	1 [%]	1,50 [%]	3 [%]
$KMnO_4$ (Manganistan draselný)	7,8125 [ppm]	15,625 [ppm]	31,25 [ppm]	62,5 [ppm]	125 [ppm]	250 [ppm]	500 [ppm]	1000 [ppm]
$CoSO_4$ (Síran kobaltna- tý)	0,50 [%]	1 [%]	1,50 [%]	2,00 [%]	2,50 [%]	3,00 [%]	3,50 [%]	4 [%]
$K_2Cr_2O_7$ (Dichroman draselný)	10 [ppm]	31,25 [ppm]	62,5 [ppm]	100 [ppm]	125 [ppm]	250 [ppm]	500 [ppm]	1000 [ppm]

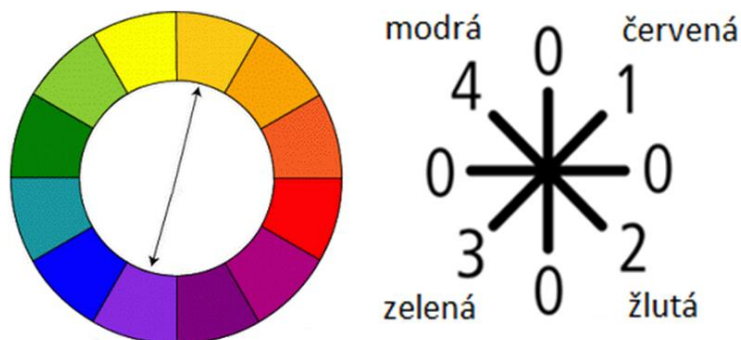
Tab. 3: Roztoky a odpovídající namíchané koncentrace

Laboratorní úloha bude sloužit k měření vzorků roztoků s odstupňovanou koncentrací barvicí látky, vždy 10 měření na senzoru pro každý vzorek a každou koncentraci roztoku.

Po každém měření by se mělo pootáčet kyvetou, tak aby se měnila poloha vůči záření. Po každém otočení, nebo výměně je nutné přikrýt krytkou, aby nedocházelo ke zkreslování měření okolními vlivy, konkrétně okolním světlem.

Při doměření celé sady 1 vzorku, se musí pootočit oběma přepínači do stejné polohy na zvolenou pozici. Ke každé barvě LED diody se váže barva sady roztoků, vychází se z komplementárních barev, které říkají, že ke každé barvě existuje její analogická barva.

Otáčením kolečka se dá zjistit komplementární barva, ke každé zvolené viz Obr. 36. Rozložení LED na přepínači s odpovídající barvou, každá mezi-poloha vypíná aktivní diodu viz (Obr. 36).



Obr. 38: Kolečko komplementárních barev a rozložení LED barev na přepínači

V následující tabulce (Tab. 4) je seznam barev LED diod a k nim vázané barvy roztoků.

Barva LED diody	Barva roztoků	Složení roztoku
červená	zelený	$Cr_2(SO_4)_3$ (Síran chromitý)
žlutá	fialový	$KMnO_4$ (Manganistan draselný)
zelená	červený	$CoSO_4$ (Síran kobaltnatý) Toxické!
modrá	oranžový	$K_2Cr_2O_7$ (Dichroman draselný) Toxické!

Tab. 4: Odpovídající barvy LED a roztoků

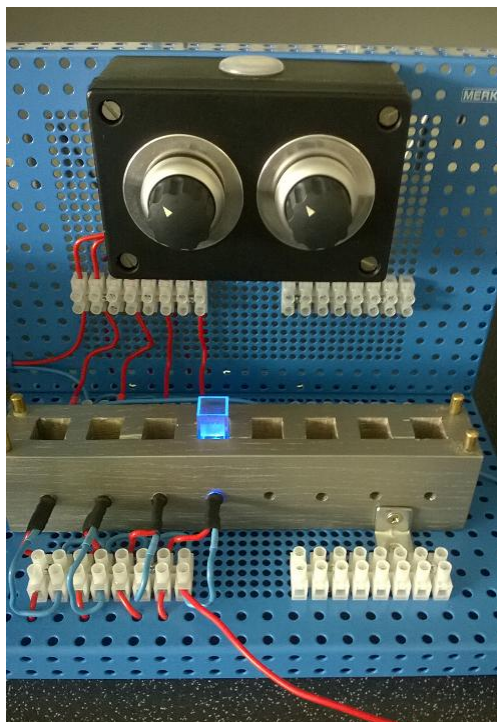
Pro uzavření jednotlivých roztoků byly vybrány laboratorní nádoby – kyvety o možném plnicím objemu 2,5 – 4ml, jsou vyrobeny z optického polystyrenu (PS), který má optimální transmitanci v rozsahu vlnových délek 340 až 900 nm, viz (Obr. 37).

Kyvety jsou jednorázové, prodávají se po 100 kusech a jejich cena je velmi nízká, cca 1ks/1kč. Originální zátky jsou objednány, zatím nestihly přijít, proto jsem musel při měření vzorové úlohy postupovat velmi opatrně, z důvodu, že některé roztoky jsou toxické, viz (Tab. 4).



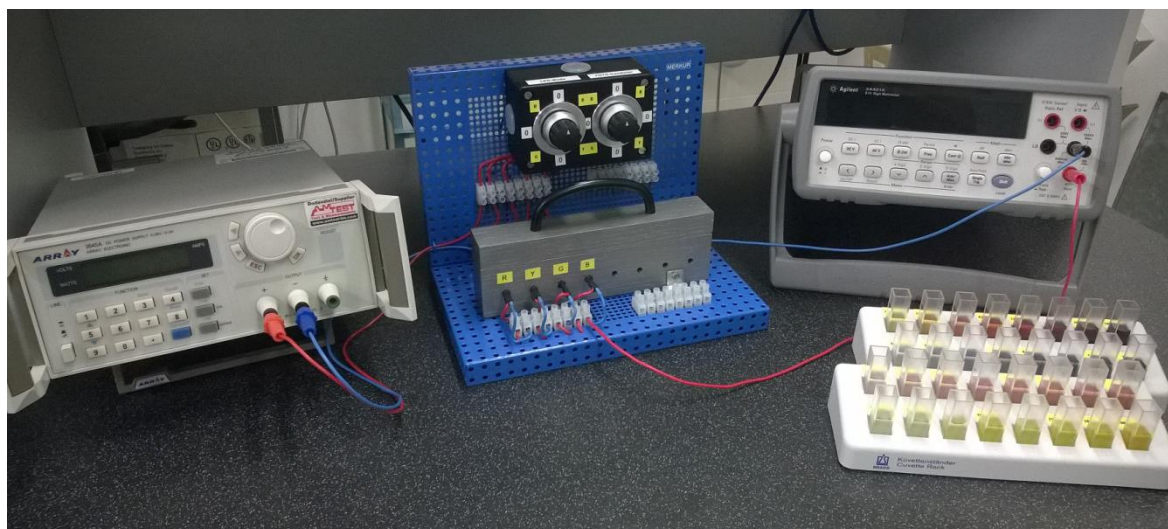
Obr. 39: Připravené a náhradní roztoky

Kompletní zapojení úlohy, bez označených poloh. Na obrázku (Obr. 38) se jedná pouze o zkoušku, je zaplá modrá LED dioda, při měření je nutné přikrýt poklopem, aby nedocházelo ke zkreslení měřených hodnot na výstupu.



Obr. 40: Celkový vzhled navržené úlohy

Na obrázku (Obr. 39) je vidět celá měřící sestava laboratorní úlohy včetně zapojení. Pozice přepínačů jsou již polepeny a popsány, tak aby bylo co nejjednodušší přepínání jednotlivých LED a fototranzistorů.



Obr. 41: Měřící sestava laboratorní úlohy

7 ZADÁNÍ LABORATORNÍ ÚLOHY

Cíl laboratorní úlohy:

Měření a vyhodnocení absorpce elektromagnetického záření ve viditelné oblasti barevných roztocích s různou koncentrací barvicí látky.

Popis měřené úlohy:

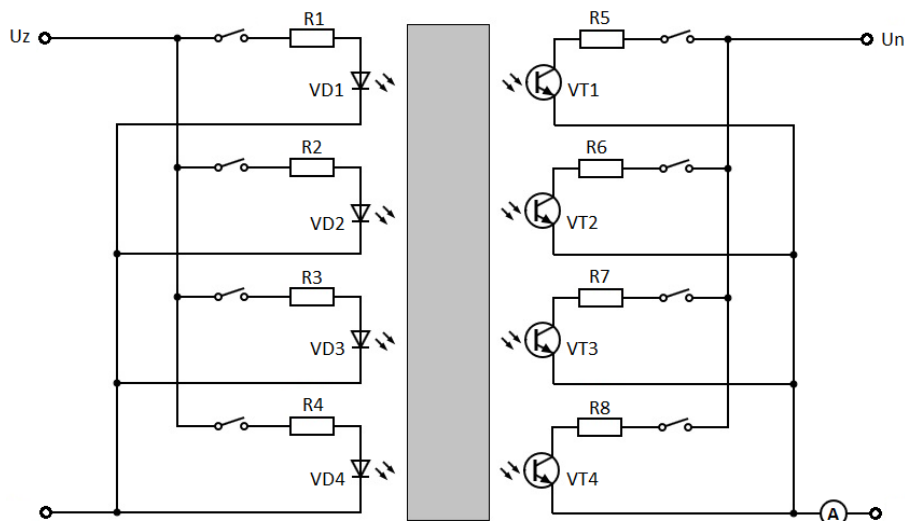
Předmětem měření jsou 4 druhy barevných roztoků, viz (Tabulka 1) s odstupňovanou koncentrací barvicí látky. Pro každý roztok bylo vybráno 8 různých koncentrací, které jsou umístěny v kyvetách. Zdrojem světla jsou 4 LED diody VD1-VD4, svítící každá jinou barvou. Tyto LED diody prosvěćující objem roztoku tak, že se na protějšší straně měří změna intenzity pomocí tranzistorů VT1-VT4 viz (Obrázek 1).

LED dioda	Barva LED	Barva odpovídajícího roztoku	Odpovídající fototranzistor
VD1	červená	Zelená $Cr_2(SO_4)_3$	VT1
VD2	žlutá	Fialová $KMnO_4$ (Manganistan draselný)	VT2
VD3	zelená	Červená $CoSO_4$ (Síran kobaltnatý) Toxické!	VT3
VD4	modrá	Oranžová $K_2Cr_2O_7$ (Dichroman draselný) Toxické!	VT4

Tabulka 1*: Barva LED a odpovídající barva roztoku

Absorpce je závislá na koncentraci barvicí látky.

Zdroj světla je napájen napětím $U_z = 15V_{SS}$, předřadné odpory LED diod R_1, R_2, R_3 jsou shodné, zaokrouhleny na normalizovanou hodnotu 680Ω a R_4 je roven 560Ω . Obvod fototranzistorů tvoří napájecí zdroj $U_n = 15V_{SS}$. Fototranzistor ovlivňuje tok proudu přes rezistory R_5, R_6, R_7 a R_8 , které mají také stejnou hodnotu a to 1200Ω . Velikost proudu se měří ampérmetrem A.



Obrázek 1*: Schéma zapojení úlohy

Postup měření:

Pro 4 druhy roztoků viz (Tabulka 1), měřte vždy 10x na senzoru pro každou koncentraci. Při tomto měření pootáčejte kyvetou, aby se měnila její poloha vůči toku záření. Všechny koncentrace nejsou známy, ty se musí vyvodit z naměřených charakteristik.

Použité zařízení:

Napájecí zdroj: ARRAY 3645A 0-36V/0-3A DC

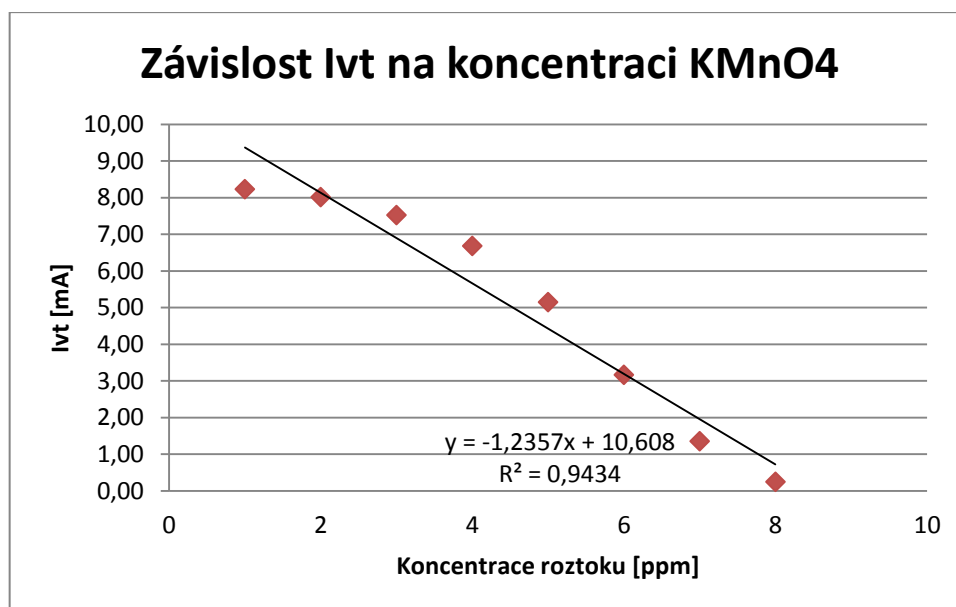
Stolní multimetr: Agilent 34401A 6 ½ Digit Multimeter

Vyhodnocení výsledků:

Naměřená a vyhodnocená data jsou zapisovány do tabulky (Tabulka 2) pro jednotlivé roztoky a jejich různé koncentrace. Grafické závislosti průměrných hodnot vyhodnocených pro jednotlivé roztoky jsou vyhodnoceny na vzorovém grafu, jako příklad byl použit roztok $KMnO_4$.

číslo měření	Koncentrace $KMnO_4$ [ppm]							
	7,81	15,63	?	62,50	125	?	500	1000
	I _{vt} [mA]							
1	8,24	8,02	7,53	6,68	5,16	3,19	1,36	0,25
2	8,23	8,02	7,53	6,68	5,16	3,19	1,36	0,25
3	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,19	1,36	0,25
4	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,36	0,25
5	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,36	0,25
6	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
7	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
8	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
9	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
10	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,15	1,35	0,25
průměr	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,17	1,36	0,25
sm. odchylka	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
max.	8,24	8,02	7,53	6,68	5,16	3,19	1,36	0,25
min.	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,15	1,35	0,25

Tabulka 2*: Vzorová tabulka pro vypracování měřené úlohy



Obrázek 2*: Závislost proudu na koncentraci

Pozn.:

**Jedná se o vzorové zadání, proto jsou předcházející obrázky a tabulky číslovány od 1.*

Zhodnocení výsledků:

Z naměřených a statisticky vyhodnocených dat se sestrojí vstupně výstupní charakteristiky závislost proudu fototranzistorů na koncentraci roztoků. Pro charakteristiky použijte bodový x,y graf, ve kterém proložte body lineární regresí, zobrazte a dopočítejte chybějící koncentrace. Poukazuje na funkci senzoru a na reálné možnosti použití těchto elementů jako spektrofotometr. Je také vyhodnocena citlivost měření a matematický vztah závislosti.

8 VZOROVÝ PROTOKOL

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně				
Fakulta aplikované informatiky				
Předmět: Senzory				
Název úlohy: Měření absorpce světelného záření barevnými roztoky				
Číslo úlohy: 1				
Datum: 5.6.2014	Jméno a příjmení:	Aleš Vašička	Hodnocení:	
Skupina: 3IIY				

Postup měření:

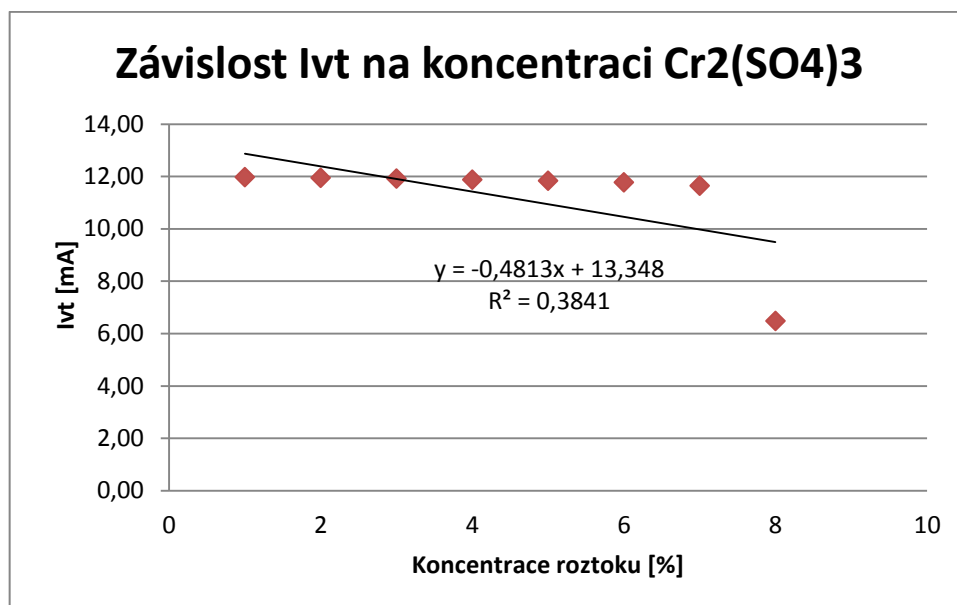
Na zdroji jsem nastavil 15V, proud byl automaticky regulován zátěží. Postupoval jsem dle zadání a měřil pouze odpovídající barvy roztoků určených ke konkrétním LED diodám.

Pro každý vzorek koncentrace jsem provedl 10 měření a z výsledných hodnot jsem dopočetl průměr, směrodatnou odchylku, maximum a minimum. Z průměrných hodnot jsem sestavil charakteristiku závislosti proudů I na koncentracích jednotlivých roztoků.

Naměřené hodnoty a vypracování:

číslo měření	Koncentrace $Cr_2(SO_4)_3$ [%]							
	0,13	0,25	?	0,50	0,75	?	1,50	3,00
	I_{vt} [mA]							
1	11,98	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
2	11,98	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
3	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
4	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
5	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
6	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
7	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
8	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
9	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
10	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
průměr	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
sm. odchylka	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
max.	11,98	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48
min.	11,97	11,95	11,92	11,88	11,84	11,78	11,65	6,48

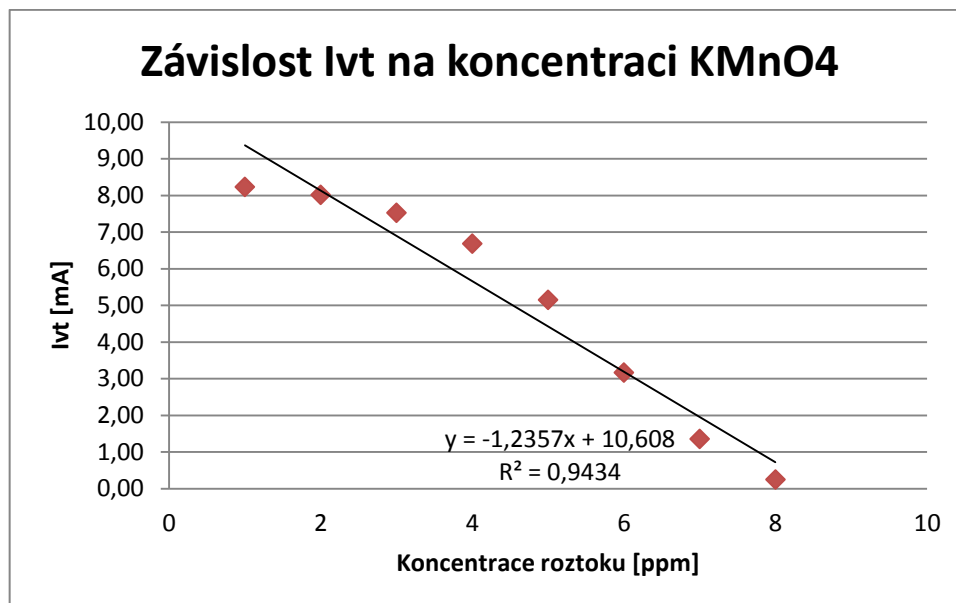
Tab.* 1: Naměřené hodnoty

Obr.* 1: Závislost Ivt na koncentraci Cr₂(SO₄)₃

Chybějící koncentrace byly dopočítány z rovnice regrese, viz (Obr. 1): 0,38% a 1%.

	Koncentrace KMnO ₄ [ppm]							
	7,81	15,63	?	62,50	125	?	500	1000
číslo měření	Ivt [mA]							
1	8,24	8,02	7,53	6,68	5,16	3,19	1,36	0,25
2	8,23	8,02	7,53	6,68	5,16	3,19	1,36	0,25
3	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,19	1,36	0,25
4	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,36	0,25
5	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,36	0,25
6	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
7	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
8	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
9	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,16	1,35	0,25
10	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,15	1,35	0,25
průměr	8,23	8,02	7,53	6,68	5,15	3,17	1,36	0,25
sm. odchylka	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
max.	8,24	8,02	7,53	6,68	5,16	3,19	1,36	0,25
min.	8,23	8,02	7,52	6,68	5,15	3,15	1,35	0,25

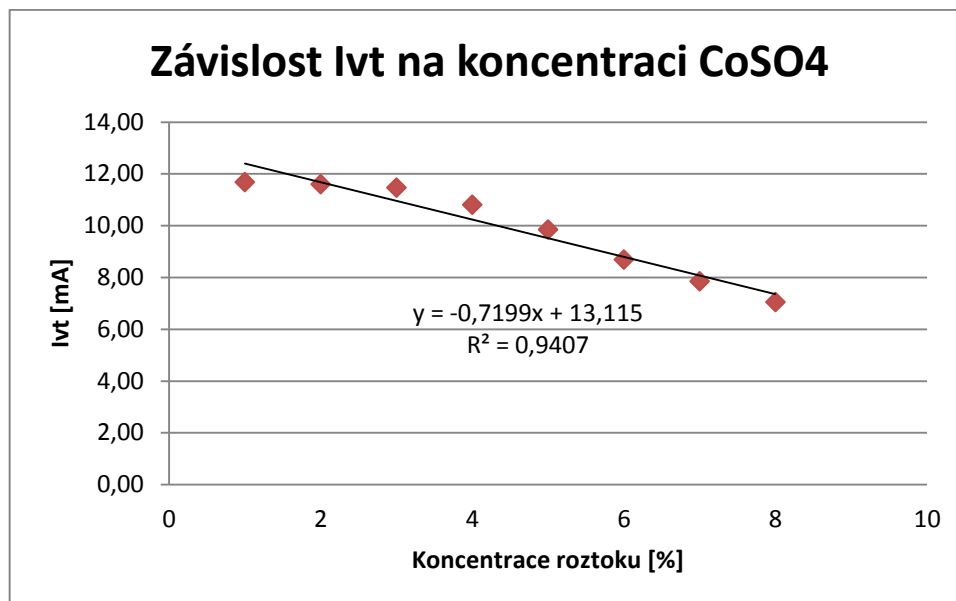
Tab.* 2: Naměřené hodnoty

Obr.* 2: Závislost Ivt na koncentraci $KMnO_4$

Chybějící koncentrace byly dopočítány z rovnice regrese, viz (Obr. 2): 31ppm a 250ppm.

	Koncentrace $CoSO_4$ [%]							
	0,5	1	1,5	?	2,5	3	?	4
číslo měření	Ivt [mA]							
1	11,68	11,60	11,47	10,80	9,83	8,69	7,85	7,04
2	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
3	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
4	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
5	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
6	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
7	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
8	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
9	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
10	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
průměr	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
sm. odchylka	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
max.	11,68	11,60	11,47	10,81	9,85	8,69	7,85	7,05
min.	11,68	11,60	11,47	10,80	9,83	8,69	7,85	7,04

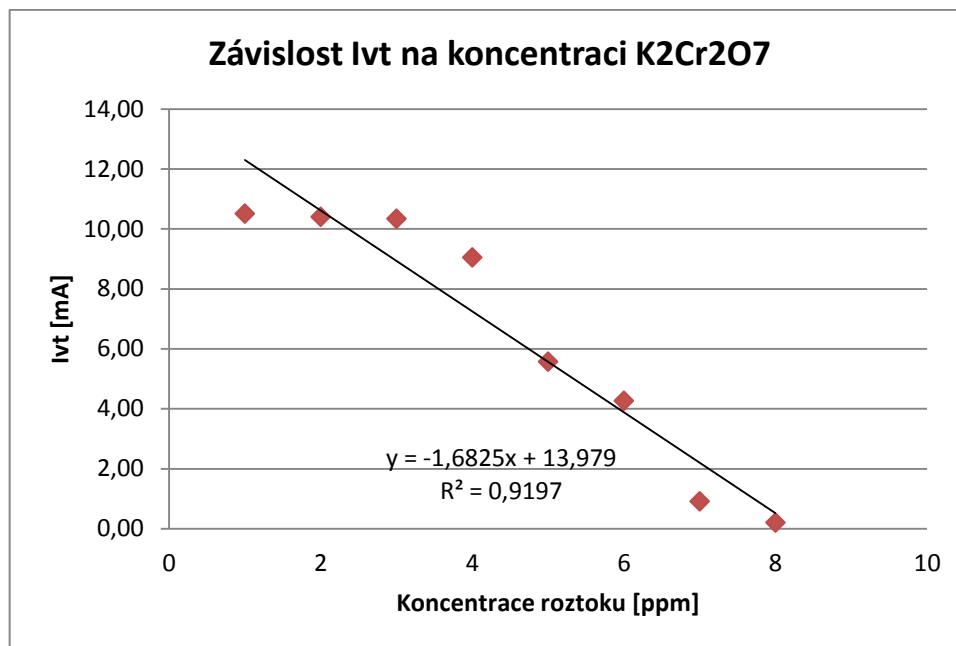
Tab.* 3: Naměřené hodnoty

Obr.* 3: Závislost I_{vt} na koncentraci roztoku

Chybějící koncentrace byly dopočítány z rovnice regrese, viz (Obr. 3): 2% a 3,5%

	Koncentrace $K_2Cr_2O_7$ [ppm]							
	10,00	31,25	?	100,00	?	250,00	500,00	1000,00
číslo měření	I_{vt} [mA]							
1	10,51	10,40	10,34	9,04	5,57	4,26	0,91	0,20
2	10,51	10,40	10,34	9,05	5,57	4,27	0,91	0,20
3	10,51	10,40	10,34	9,05	5,57	4,27	0,91	0,20
4	10,51	10,40	10,34	9,06	5,58	4,26	0,91	0,20
5	10,51	10,41	10,34	9,05	5,57	4,27	0,91	0,20
6	10,51	10,41	10,34	9,05	5,58	4,27	0,91	0,20
7	10,51	10,41	10,34	9,06	5,57	4,27	0,91	0,20
8	10,52	10,41	10,35	9,05	5,57	4,27	0,91	0,20
9	10,51	10,41	10,35	9,05	5,57	4,27	0,91	0,20
10	10,51	10,41	10,35	9,05	5,57	4,27	0,91	0,20
průměr	10,51	10,40	10,34	9,05	5,57	4,27	0,91	0,20
sm. odchylka	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
max.	10,52	10,41	10,35	9,06	5,58	4,27	0,91	0,20
min.	10,51	10,40	10,34	9,04	5,57	4,26	0,91	0,20

Tab.* 4: Naměřené hodnoty



Obr.* 4: Závislost Ivt na koncentraci

Chybějící koncentrace byly dopočítány z rovnice regrese, viz (Obr. 3): 62,5ppm a 125ppm

Pozn.:

**Jedná se o vzorové zadání, proto jsou předcházející obrázky a tabulky číslovány od 1.*

Zhodnocení výsledků:

Z naměřených hodnot byly vytvořeny charakteristiky závislostí výstupního proudu fototranzistorů na koncentraci roztoků, na kterých byly ověřeny vlastnosti absorpce světelného záření, různými koncentracemi jednotlivých roztoků. Z velmi malé směrodatné odchylky vyplývá, že bylo měření provedeno správně. Chybějící neznámé koncentrace byly zjištěny (dopočítány) pomocí rovnice přímky y , která vznikla proložením všech naměřených bodů.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat laboratorní úlohu, která bude sloužit pro výuku předmětu Senzory, který je součástí studijního plánu Fakulty aplikované informatiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část je zaměřena na rozbor základních pojmů kolorimetrie, možných světelných zdrojů záření a především rozbor vhodných senzorů určených k měření absorpce světla. Praktická část je zaměřena na návrh a realizaci úlohy, dále k měření a vyhodnocování dat.

Prvním krokem bylo stanovení cílů, kterých by bylo možné se držet. Prvním ze stanovených cílů byl návrh laboratorní úlohy, ve které byly vybrány polovodičové součástky jako zdroje světla LED diody a k měření absorbovaného záření byl zvolen fototranzistor. LED dioda byla zvolena na základě srovnání s jinými zdroji světla, ale také s ohledem na cenu, jednoduchost a dlouhou životnost, kterými se LED dioda vyznačuje. Fototranzistor byl vybrán kvůli tranzistorovému jevu, zesílení. Obě polovodičové součástky splňovaly požadavky pro realizaci laboratorní úlohy. Volba otočného přepínače spočívala v zamezení zapnutí více LED diod a fototranzistorů, bohužel kontaktní prvky umí ovládat pouze jednu úroveň, proto musely být zapojeny diody i fototranzistory samostatně. Součástí úlohy je i návrh a vyrobení podstavce, pro upevnění kyvet a výše zmíněné diody s fototranzistory.

Realizace úlohy pojednává o postupu při konstruování laboratorní úlohy a její realizaci. Při zapojování jednotlivých součástí se dbalo na možné rychlé výměny součástek, proto byly používány svorkovnice. Po zapojení celé úlohy bylo provedeno ověření funkčnosti, sérií měření výstupního signálu ampérmetru, při tomto měření se muselo postupovat velmi opatrně z důvodu chybějících zátek kyvet. Zátky ke kyvetám jsou prodejci dostupné pouze ve velkém množství a to 1000ks, proto se přemýšlelo i o jiných možnostech uzavření. Po zjištění velmi nízké ceny za celou sadu se dodatečně objednaly.

Naměřené hodnoty byly zapisovány do tabulky, následně zpracovány a vyhodnoceny pomocí charakteristik. Všechny tyto údaje byly zaneseny do vzorového protokolu. Při stanovení jednotlivých koncentrací roztoků se nevědělo, jaké budou výstupní charakteristiky. Doporučuji u roztoku $Cr_2(SO_4)_3$ zvolit menší rozestup jednotlivých koncentrací, z důvodu velkého skoku úbytku proudu I_{vt} , viz (Obr.* 1).

Studenti si při měření prověří základní problematiku spojenou s touto úlohou.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŤÁTKO, Jan. Elektronika. 6. vyd., V Idea servis 5., dopl. a upr. vyd. Praha: Idea servis, 2008, 362 s. ISBN 978-80-85970-64-7.
- [2] HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80-7454-096-7.
- [3] ŠTĚTINA, Josef, Michal JAROŠ a Pavel RAMÍK. Snímače světelného záření. *Virtuální laboratoř - Měření: Měření snímače, metody* [online]. Brno, 2003 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka03-07.htm>
- [4] HLAVÁČ, Václav. *Barva, barevné obrazy a správa barev* [online]. Praha, 2011 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/04ColorImagCz.pdf>. Elektronická skripta. České vysoké učení technické.
- [5] ŠULCOVÁ, Petra. *VYJADŘOVÁNÍ A HODNOCENÍ BAREV* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, 2012 [cit. 2014-06-1]. Dostupné z: <http://konference.osu.cz/svk/sbornik2012/pdf/budoucnost/chemie/sulcova.pdf>
- [6] ZAHRADNÍK, Radek. Rozdíl mezi kolorimetry a spektrofotometry. *KALIBRACE MONITORŮ* [online]. 2013 [cit. 2014-06-1]. Dostupné z: <http://www.kalibrace-monitoru.eu/jaky-je-rozdil-mezi-kolorimetry-a-spektrofotometry/>
- [7] ŘÍČNÝ, Václav. *Videotechnika: přednášky* [online]. vyd. 4., uprav. Brno: VUT FEKT, ústav radioelektroniky, 2006, 135 s. [cit. 2014-06-1]. ISBN 80-214-3225-X. Dostupné z: http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/literature/mvdk.pdf
- [8] ICT kompetence. KUBRICKÝ. *Počítačová grafika: Barevný model, DPI* [online]. Univerzita Palackého v Olomouci, Katedra technické a informační výchovy, 2009 [cit. 2014-06-1]. Dostupné z: <http://www.kteiv.upol.cz/frvs/ict-kubricky/?page=pocitacova-grafika/barevny-model-dpi>
- [9] FILKA, Miloslav. *Optoelectronics: for telecommunications and informatics*. Dallas: OPTOKON CO., LTD., 2009, 398 s. ISBN 978-0-615-33185-0.
- [10] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické obvody a elektronika*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 142 s. ISBN 80-010-2466-0.

- [11] LORENCOVIČ, Jiří. *LED DIODY*. Považská Bystrica, 2007. Dostupné z: http://www.jlelektronik.sk/produkty-databaza/3.Optoelektronick%E9%20s%FA%E8iastky/Led_di%F3dy.pdf
- [12] LED. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-06-1]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [13] DVOŘÁČEK, Vladimír. *Světelné zdroje*. Panenské Břežany: S Lamp s.r.o., 2009. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39810.pdf>
- [14] ŠTĚTINA, Josef. Virtuální laboratoř - Měření: Měření snímače, metody. JAROŠ, Michal a Pavel RAMÍK. *Virtuální laboratoř - Experimentální metody* [online]. Brno, 2003 [cit. 2014-06-1]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka03-07.htm>
- [15] WILFERT, Otakar. *Kvantová a laserová elektronika*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012, 141 s. ISBN 978-80-214-4493-5.
- [16] VIKOVÁ, Martina. *Kolorimetrie funkčních barviv* [online]. Liberec, 2009 [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/sylaby/Textilni_Fyzika/Kolorimetrie%20funk%C4%8Dn%C3%ADch%20barviv.pdf. Elektronická skripta. Technická universita v Liberci.
- [17] *VISIBLE LIGHT PRODUCTS SPECIFICATION: HB5-436HOR*. 21.3.2011, 7Ddatasheed. Dostupné z: http://www.ges.cz/sheets/h/hb5_436hor.pdf
- [18] *Selectorswitch,4positions: M22-WR4* [online]. Eaton Industries GmbH, 19.3.2014 [cit. 2014-06-1]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/b1337590815ea9a3dc904e245ac55039/M22-WR4.pdf>
- [19] VÍT,V.: *Televizní technika - Přenosové barevné soustavy*. Praha: BEN 1997. 719s. ISBN 80-86056-04-X.
- [20] VÍT,V.: *Televizní technika - Přenosové barevné soustavy*. Praha: BEN 1997. 719s. ISBN 80-86056-04-X.
- [21] *Kolorimetry a spektrofotometry*. 2010. Dostupné z: http://www.hach-lange.cz/medias/sys_master/8811341840414/laboratorn%C3%AD+%C5%A1anon+aktualizace+5.12.2012.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CIE Commission Internationale de l'Eclairage.

RGB Red, Green, Blue.

CMYK Cyan, Magenta, Yellow, Black.

HSV Hue, Saturation, Value.

LED Light Emitting Diode.

Sm. Směrodatná

Min. Minimální

Max. Maximální

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Aditivní míchání barev a subtraktivní míchání barev	12
Obr. 2: Barevné složky HSV [4].....	13
Obr. 3: Chromatický diagram CIE XYZ [3].....	14
Obr. 4: Průběh normovaných spektrálních funkcí x, y a z [4].....	14
Obr. 5: RGB model krychle [8]	16
Obr. 6: CMYK model krychle [8]	17
Obr. 7: Technické údaje kolorimetru	18
Obr. 8: Technické údaje spektrofotometru	18
Obr. 9: Schematická značka diody	19
Obr. 10: Značení led diod	21
Obr. 11: Ukázka vnitřní struktury LED diody [12]	22
Obr. 12: Pouzdro laserové diody	24
Obr. 13: Schematická značka a závislost odporu na osvětlení	25
Obr. 14: Schematická značka a výstupní charakteristika fototranzistoru.....	26
Obr. 15: Voltampérová charakteristika fotodiody [2]	27
Obr. 16: Voltampérové charakteristiky fototyristoru [1].....	28
Obr. 17: Blokové schéma experimentální úlohy	31
Obr. 18: Vzhled a rozměry LED diody [17].....	33
Obr. 19: Charakteristiky LED [17]	33
Obr. 20: Vzhled a rozměry fototranzistoru [17]	34
Obr. 21: Charakteristika fototranzistoru [17]	34
Obr. 22: Rozměry přepínače [18]	35
Obr. 23: Vzhled přepínače a polohy přepínače [18].....	35
Obr. 24: Kontaktní prvek [18]	36
Obr. 25: Seznam součástí [18]	36
Obr. 26: Rozměry podstavce	37
Obr. 27: Rozměry krytky podstavce	38
Obr. 28: Podstavec a krytka kyvet	38
Obr. 29: Krytka podstavce	38
Obr. 30: Finální podoba podstavce a krytky kyvet.....	39
Obr. 31: Upravená krabička pro povrchovou montáž IP 44 T2.....	39
Obr. 32: Výsledný vzhled krabičky pro povrchovou montáž.....	40

Obr. 33: Obvod zapojení.....	41
Obr. 34: LED dioda s napájeným předřadným odporem.....	42
Obr. 35: fototranzistory s napájeným rezistorem a vodiči.....	42
Obr. 36: Zapojení LED ke svorkovnicím	43
Obr. 37: Rozmístění součástek, kabeláže a zapojení kontaktních prvků.....	43
Obr. 38: Kolečko komplementárních barev a rozložení LED barev na přepínači.....	45
Obr. 39: Připravené a náhradní roztoky	45
Obr. 40: Celkový vzhled navržené úlohy	46
Obr. 41: Měřicí sestava laboratorní úlohy	46
Obrázek 1*: Schéma zapojení úlohy	48
Obrázek 2*: Závislost proudu na koncentraci	49
Obr.* 1: Závislost I_{vt} na koncentraci Cr_2SO_4	52
Obr.* 2: Závislost I_{vt} na koncentraci $KMnO_4$	53
Obr.* 3: Závislost I_{vt} na koncentraci roztoku	54
Obr.* 4: Závislost I_{vt} na koncentraci.....	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Parametry LED diod.....	21
Tab. 2: Hodnoty předřadných odporů LED	33
Tab. 3: Roztoky a odpovídající namíchané koncentrace	44
Tab. 4: Odpovídající barvy LED a roztoků	45
Tabulka 1*: Barva LED a odpovídající barva roztoku	47
Tabulka 2*: Vzorová tabulka pro vypracování měřené úlohy.....	49
Tab.* 1: Naměřené hodnoty.....	51
Tab.* 2: Naměřené hodnoty.....	52
Tab.* 3: Naměřené hodnoty.....	53
Tab.* 4: Naměřené hodnoty.....	54