

# Středoškolská odborná činnost 2008/2009

12. Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

## **Konstrukce fotometru pro školskou praxi**

**Autor:**

Bořivoj Zamazal  
3. ročník  
Gymnázium Jakuba  
Škody  
Komenského 29  
750 11 Přerov

**Konzultant:**

Mgr. Lukáš Müller, Ph.D.  
Univerzita Palackého  
779 42 Olomouc

## ***PROHLÁŠENÍ***

Prohlašuji tímto, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně po předchozích konzultacích s Mgr. Lukášem Müllerem, Ph.D. a s pomocí odborné literatury uvedené v závěru práce.

V Přerově dne 6.3.2009

---

Vlastnoruční podpis autora

## *Poděkování*

Rád bych tímto poděkoval svému konzultantovi panu Mgr. Lukáši Müllerovi, Ph.D. z Katedry analytické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci za jeho podporu, rady a pomoc při tvorbě této práce. Dále bych mu tímto rád poděkoval za materiální podporu a sponzoring. Další poděkování patří panu prof. RNDr. Janu Naušovi CSc. za umožnění měření v laboratoři Katedry experimentální fyziky na Univerzitě Palackého a dále Katedře analytické chemie, pod jejíž záštitou projekt vznikl.

## *Obsah*

<b>1. Úvod</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Teoretická část</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Obecná konstrukce přístroje</b> .....	<b>7</b>
<b>4. Stavba fotometru</b> .....	<b>8</b>
<b>5. Vlastní konstrukce přístroje</b>	
<b>5.1 Prototyp B01</b> .....	<b>10</b>
<b>5.2 Prototyp B02</b> .....	<b>12</b>
<b>6. Laboratorní návody</b> .....	<b>18</b>
<b>6.1 Stanovení síranu měďnatého</b> .....	<b>18</b>
<b>6.2 Stanovení síranu nikelnatého</b> .....	<b>19</b>
<b>6.3 Stanovení octanu kobaltnatého</b> .....	<b>21</b>
<b>6.4 Stanovení ferrokyanidu draselného</b> .....	<b>22</b>
<b>7. Závěr</b> .....	<b>23</b>
<b>8. Anotace</b> .....	<b>24</b>
<b>9. Seznam použité literatury</b> .....	<b>25</b>

## *1. Úvod*

Uvedená práce SOČ s názvem "Konstrukce fotometru pro školskou praxi" se zabývá vývojem zařízení, které lze použít ke stanovení mnoha látek (polutantů životního prostředí, meziproductů chemické syntézy, základních složek pitných a minerálních vod apod.) v laboratorních cvičeních z chemie, při projektových dnech, či laboratorních kroužcích na středních školách. Cílem nebyla konstrukce přístroje, který by se vyrovnal v přesnosti komerčním přístrojům, ale navrhnutí dostatečně přesného přístroje pro širokou škálu aplikací, který si mohou studenti vyrobit sami a to s co nejmenšími náklady a náročností konstrukce. V rámci SOČ jsem po konzultaci s dr. Müllerem sestavil prototyp takového přístroje, jehož koncepce je otevřená pro další úpravy (měření s průtokovou kyvetou, konstrukce ponorné fotometrické cely apod.), vybral a vyzkoušel některé konkrétní měření vhodné pro studenty do přírodovědných předmětů nebo kroužků na středních školách.

## 2. Teoretická část

Fotometrie je fyzikálně-chemická metoda, používající se v analytické chemii ke stanovování koncentrací látek v roztoku. Každý z nás se s touto metodou už setkal, třeba i nevědomky. Když si ráno vaříme čaj, či děláme šťávu, tak si každý určitě všiml, že čím více čaje nebo sirupu dáme do vody tím má tmavší barvu, což je vlastně základ fotometrie. V principu tato metoda využívá interakce mezi hmotou a zářením. To znamená, že pokud necháme roztokem procházet monochromatické světelné záření, pak dojde k absorpci částí světelné energie. V roztoku dojde díky vstupující energii záření k excitaci elektronů molekul, iontů (vybuzení na vyšší energetickou hladinu). Tento stav je však nestabilní, a proto elektron přechází zpět na svou původní energetickou hladinu a dochází k opětovnému vyzáření světla, ale navíc také tepelné energie. Tam právě dochází k absorpci části světelného toku. Přitom platí zákon: „ Prochází-li tok rovnoběžných paprsků o určité zářivé energii  $\Phi_0$ , homogenní vrstvou délky ( $l$ ), dochází k určité absorpci záření a z homogenní vrstvy vychází paprsek se sníženou zářivou energií  $\Phi$ .“

Absorbance určitého atomu, resp. skupiny atomů, je různá pro různé vlnové délky záření a každý atom, resp. skupina atomů má jiné absorpční maximum. Velikost absorpce je závislá na délce vrstvy ( $l$ ) a na koncentraci absorbující složky. Vzájemný vztah mezi absorpcí záření, délkou vrstvy a koncentrací absorbující složky udává Lambert-Beerův zákon:

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l$$

**A**- absorbance

**$\epsilon$** - molární absorpční koeficient dané látky

**c**- koncentrace absorbující složky

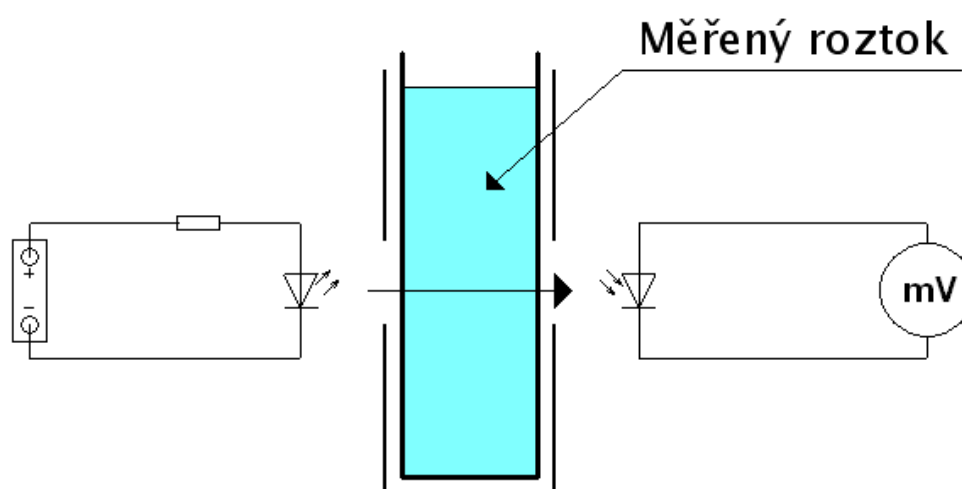
**l**- délka absorbující vrstvy

Uvedeného vztahu se často používá ve formě kalibrační závislosti pro stanovení dané látky v roztoku.

### 3. Obecná konstrukce přístroje

Fotometrická měření jsou založena na měření intenzity monochromatického záření vysílaného zdrojem záření (dané vlnové délky, resp. po průchodu monochromátorem) procházejícího kvyetou se zkoumaným vzorkem, který absorbuje záření o dané vlnové délce. Svazek monochromatického záření dopadá na detektor, který převádí intenzitu prošlého záření na elektrický signál, který je po modifikaci odečítán z displeje přístroje, resp. je zaznamenán osobním počítačem. V komerčních fotometrech slouží jako zdroj světla většinou výbojka, kombinovaná s žárovkou. Vzniklé záření je pak rozloženo hranolem nebo disperzní mřížkou na spektrum jednotlivých vlnových délek, záření pak prochází vzorkem a dopadá na detektor. Poté je buď indikováno nebo zaznamenáno. V našich prototypích fotometrů je však jako zdroje světla použito LED diod, které produkují dostatečně monochromatické záření. K docílení různých vlnových délek je nutno použít více různých LED diod.

V navrženém zařízení bylo použito jako zdroje záření LED diod o různých vlnových délkách emitovaného záření. Jako detektor byla volena vhodná LED dioda, na jejímž polovodičovém PN přechodu vzniká při dopadu světelné energie malé napětí (v řádu desítek mV). Tento jev je způsoben hradlovým fotoefektem, kdy do oblasti přechodu PN proniká elektromagnetické záření (světlo), které generuje páry elektron - díra. Osvětlený přechod PN diody je vodivý i v závěrném směru a sám se stává zdrojem napětí. Napětí vzniklé na PN přechodu je závislé na jeho osvětlení a to přímo úměrně a je měřitelné klasickým voltmetrem.



Obr. 1 Obecné schéma popisovaného fotometru

Ideu zařízení si lze lépe představit podle výše uvedeného obrázku. Napětí je přes omezovací rezistor vedeno na vysílací LED diodu, která emituje světlo o určité vlnové délce. Světlo prochází kyvetou s měřeným roztokem a dopadá na detekční LED diodu, na které vzniká napětí úměrné jeho intenzitě. Vzniknuvší napětí je dále zobrazeno příslušným voltmetrem.

## ***4. Stavba fotometru***

Při návrhu fotometru, který by mohli konstruovat přímo studenti v přírodovědných kroužcích, resp. jej využívat při stanovování různých látek při projektových dnech, jsme vyšli z několika základních požadavků:

- 1) nízká cena,
- 2) relativně snadná konstrukce, realizovatelná v podmínkách střední školy,
- 3) dostatečná přesnost a správnost měřených veličin,
- 4) možnost volby různých vlnových délek,
- 5) variabilita celého systému (možnost rozšíření o další funkce apod.),
- 6) použitelnost přístroje v analýzách různých typů vzorků,
- 7) funkční odolnost při práci středoškoláků.

### ***4.1 Volba vhodných LED diod***

V počátku řešení projektu bylo třeba zvolit LED diody, které by svými parametry vyhovovaly popisovaným měřením. Hlavními parametry při výběru byla vlnová délka emitovaného záření, intenzita záření a tvar vyzařovaného spektra. Bylo zakoupeno 25 různých LED diod od firmy GM electronic, která ve svém katalogu ([www.gme.cz](http://www.gme.cz)) uvádí u většiny LED diod i vlnové délky a má zastoupení v několika městech ČR. Intenzita, i spektrum emitovaného záření bylo měřeno na přístroji Spectroradiometer LI-1800 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, U.S.A) s mléčným sklem (Katedra biofyziky UP Olomouc). Měření se uskutečnilo za pokojové teploty, v rozmezí vlnových délek 300 – 1100 nm (krok měření 2 nm, spektrální šířka 6 nm). Díky tomuto měření bylo vyřazeno 10 LED diod, které měly malý světelný tok a nebylo možno získat jejich emisní spektrum. Zbývajících 15 diod bylo vyhodnoceno a výsledky měření jsou zpracovány do níže uvedené tabulky.

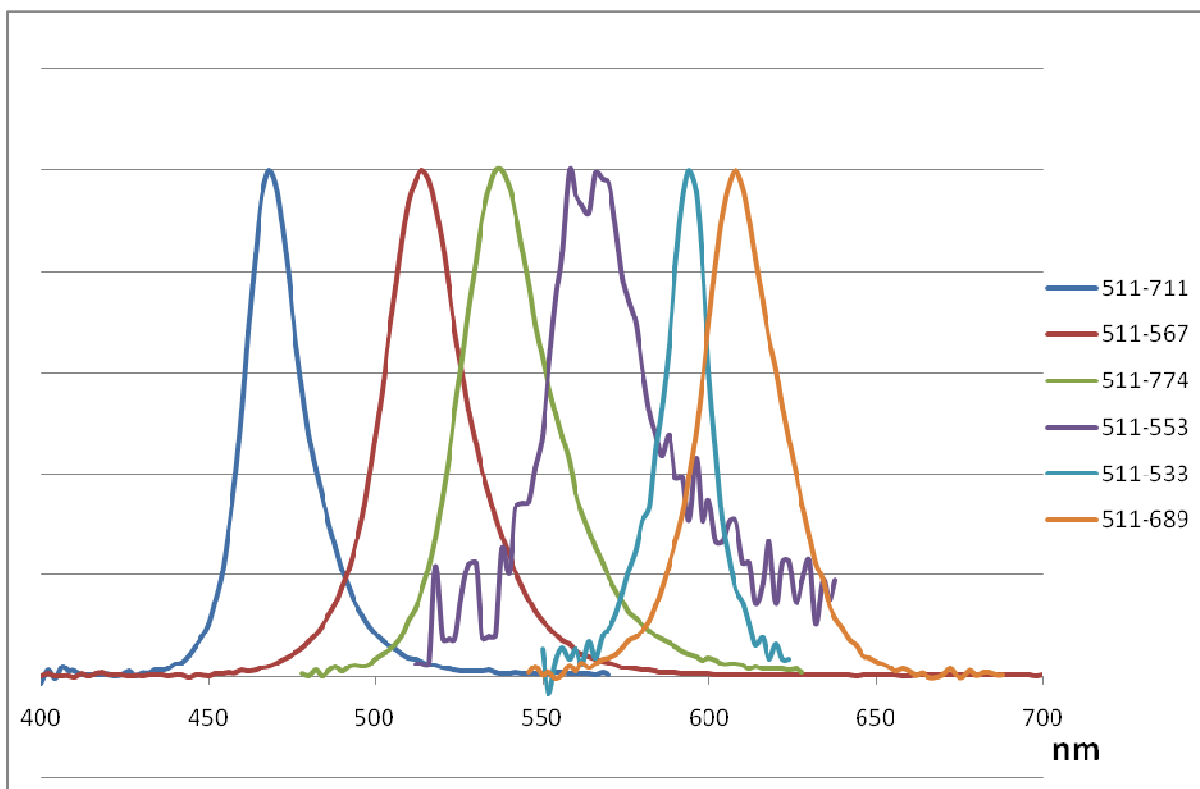


## Konstrukce fotometru pro školskou praxi

Pořadí	Katalogové číslo diody	Barva světla	Intenzita vizuálně	Intenzita ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Poloha max. (nm)	Pološířka (nm)
1	511-022	Žlutá	Velmi slabá	0,0035	596	20
2	511-124	Červená	Slabá	0,0049	642	18
3	511-263	Červená	Střední	0,0174	630	10
4	511-396	Červená	Slabá	0,0048	396	8
5	511-398	Červená	Slabá	0,0200	704	82
6	511-449	Ultrafialová	Viz. nelze posoudit	0,0304	386	8
7	511-533	Žlutá	Střední	0,0130	594	10
8	511-553	Zelená	Slabá	0,0087	564	28
9	511-567	Zelená	Silná	0,5150	514	22
10	511-638	Červená	Střední	0,0153	654	16
11	511-654	Oranžová	Silná	0,0710	608	22
12	511-681	Oranžová	Silná	0,0252	630	10
13	511-689	Červená	Silná	0,0289	634	12
14	511-711	Modrá	Silná	0,1700	468	14
15	511-774	Zelená	Silná	0,0136	538	24

Tab. 1 Parametry emisních spekter diod

Ze zbylých 15 diod bylo na základě emisních spekter vybráno 6 diod, které dostatečně pokrývaly spektrum o rozmezí vlnových délek 450 – 650 nm, jak je vidět na grafu (Obr. 2).



Obr. 2 Pokrytí spektra normovanými píky.

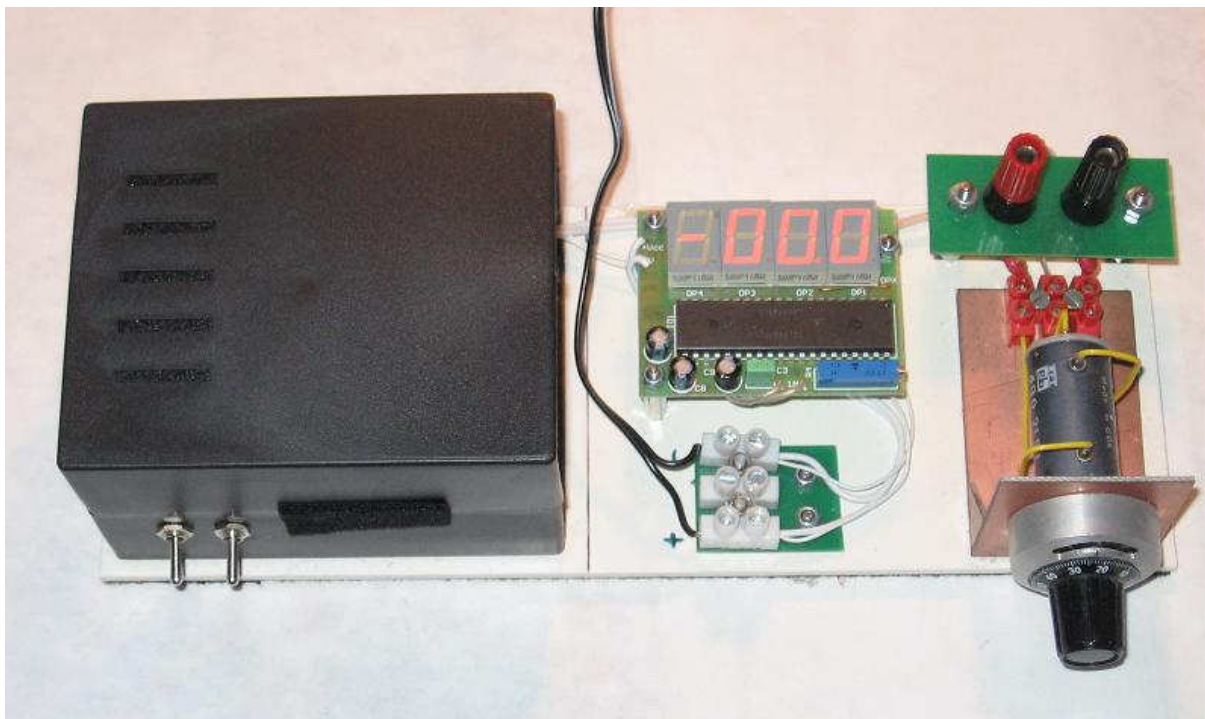
K jednotlivým „zdrojovým“ LED diodám byly zvoleny vhodné LED diody detekční, tak aby generované napětí na jejich PN přechodu bylo co nejvyšší. Přehled vhodných a dále využívaných „zdrojových“ i detekčních LED diod je uveden v tabulce 2.

Kat. č. „zdrojové“ diody	Barva světla	Intenzita ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Poloha max. (nm)	Pološířka (nm)	Katalogové číslo detekční diody	Barvy det. diod
511-533	Žlutá	0,0130	594	10	511-689	Červená
511-553	Zelená	0,0087	564	28	511-689	Červená
511-567	Zelená	0,5150	514	22	511-533	Žlutá
511-689	Červená	0,0289	634	12	511-689	Červená
511-711	Modrá	0,1700	468	14	511-577	Zelená
511-774	Zelená	0,0136	538	24	511-533	Žlutá

Tab. 2 Parametry vybraných diod

## 5. Vlastní konstrukce přístroje

### 5.1 Prototyp B01



Obr. 3 Prototyp B01

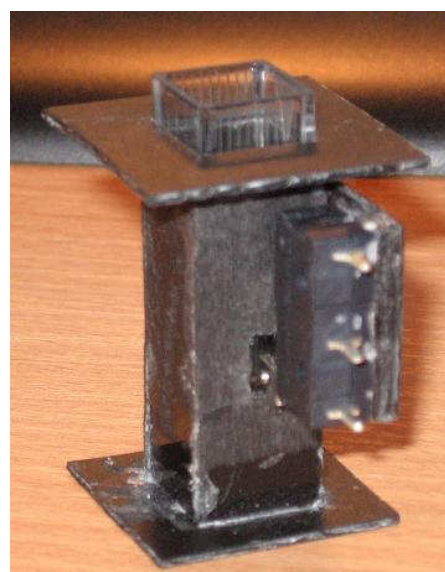
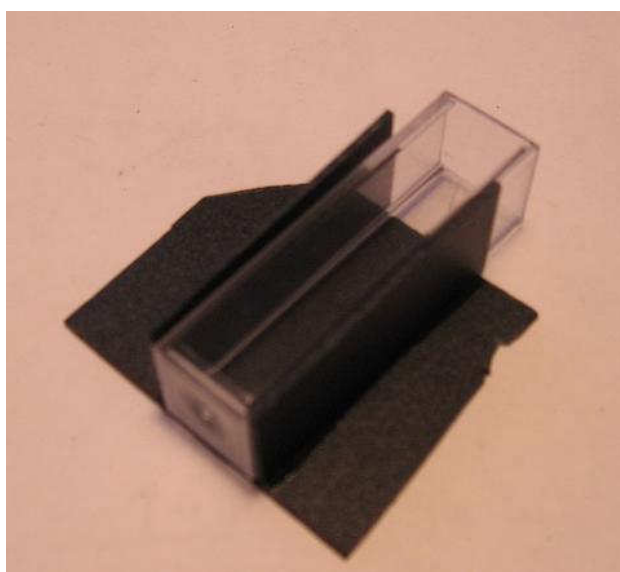
## Konstrukce fotometru pro školskou praxi

---

Jako první byl sestaven tento zkušební prototyp, který je možné použít jako jednoduchý fotometr s fixní vlnovou délkou zdroje záření. Pokud bychom chtěli délku měnit tak je nutno mechanicky vyměnit vysílací i přijímací LED diodu. Tento prototyp je díky své jednoduché konstrukci velmi vhodný pro školní kroužky či laboratorní praktika. Nevýhodou je nutnost sestavení několika modelů (resp. výměna LED diod) při různých aplikačních výstupech.

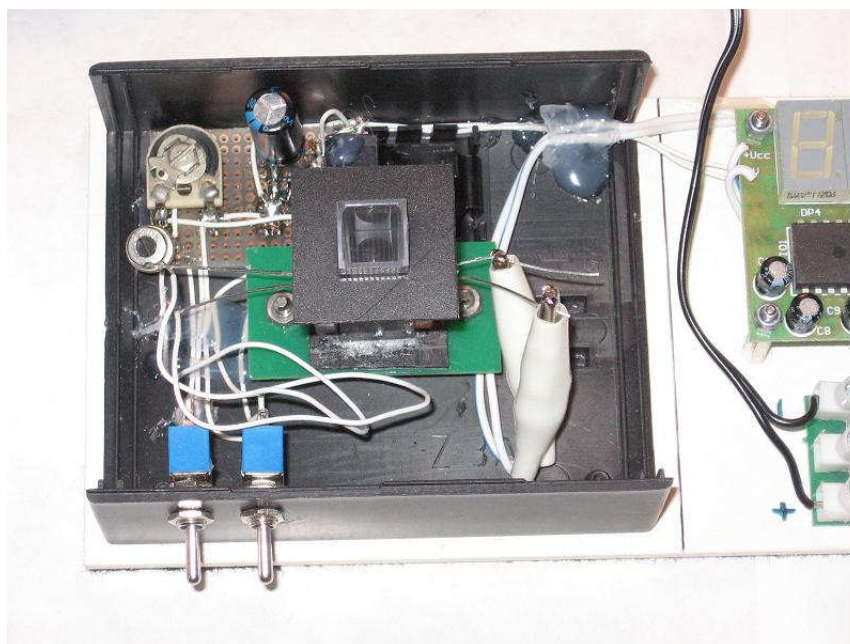
Jako zdroj napětí pro zařízení byl použit síťový adaptér DC 5-9V. Napětí bylo poté vedeno na stabilizátor 7805 a na napájecí kontakty mV- metru. Napětí ze stabilizátoru bylo přes předřadný rezistor vedeno na vysílací LED diodu. V tomto prototypu napětí z detekční LED diody nevedlo přímo do mV-metru, ale nejdříve přes airport 10 k $\Omega$  (více otáčkový potenciometr). Ve výsledku se však ukázalo, že není potřeba.

Celá konstrukce byla uchycena na plastové desce a sekce s šachtou a diodami byla umístěna do černé krabice. Šachtu je nutno vytvořit podle možností - my jsme využili černého plastu (černá část obalu na CD). Materiál je to celkem vhodný, ale je nutno vzhledem k lámavosti pracovat opatrně. Plast šlo tvarovat nastříháním a slepením vhodným lepidlem (lepidlo na plastické modely). Jako šablonu bylo vhodné použít plastovou kyvetu (při výrobě se znehodnotí). Na hotovou šachtu byl poté do vhodné polohy připevněn mikropsínač, který zabraňuje měření bez zasunutí kyvety (opět není nezbytná součást přístroje).



**Obr. 4,5** Rozpracovaná a hotová šachta

Jako další materiál na výrobu šachty je možno použít kuprextit, pertinax či ji nechat vyfrézovat např. z hliníku atd. Výrobní cena tohoto prototypu je přibližně 550Kč.



Obr. 6 Šachta a elektronika uvnitř měřicí krabice prototypu B01

### 5.2 Prototyp B02

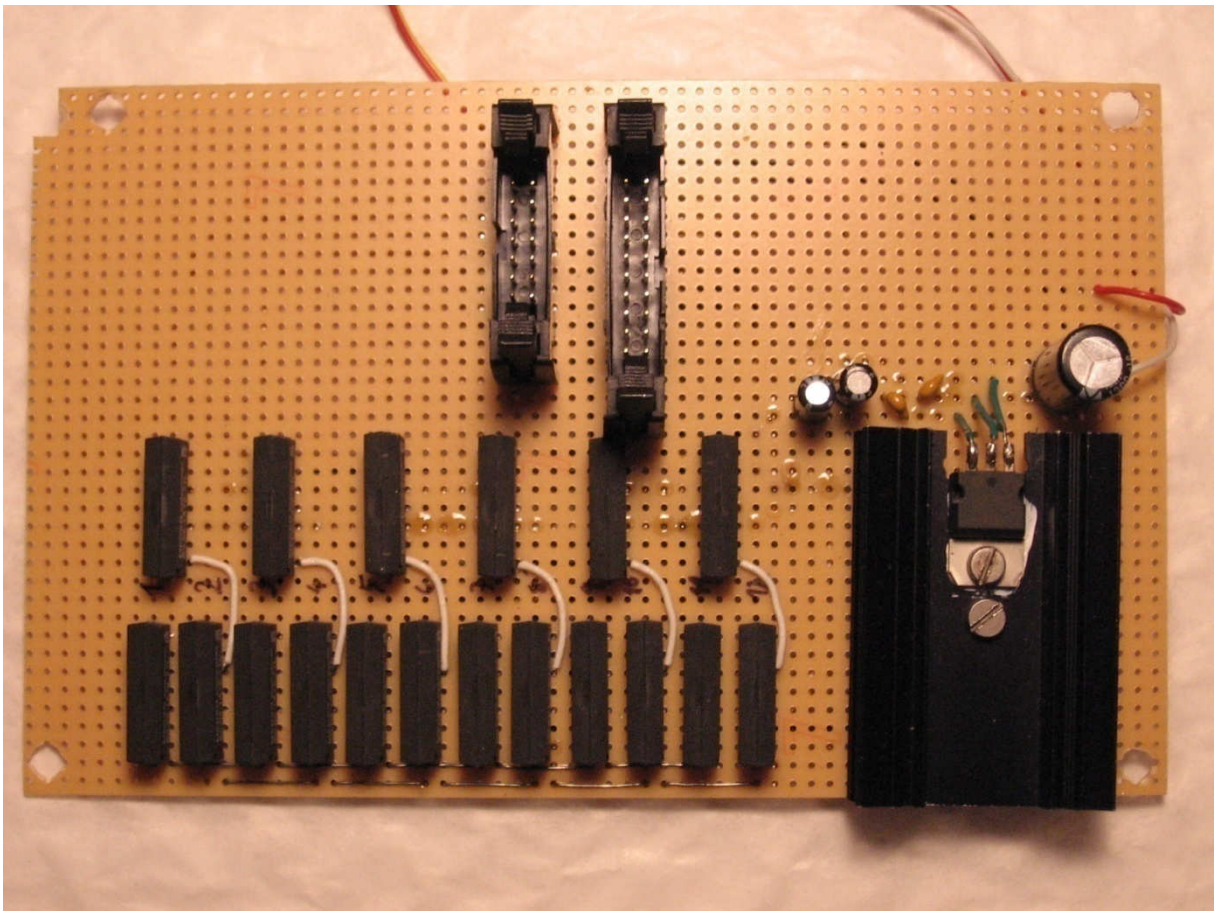
Tento prototyp je principiálně stejný jako prototyp B01. Liší se možností měření na šesti různých vlnových délkách. Dále bylo cílem zařízení pouze s jedním ovládacím prvkem. Tento požadavek byl vyřešen přepínačem 2x6 poloh. Na první systém přepínače jsou připojeny indikační LED diody na panel. Na druhém systému je ovládací elektronika.

Elektronika byla umístěna na předvrtanou univerzální desku tištěných spojů, která byla dohotovena formou drátových propojek (jako řešení to byla nejlepší cesta při vývoji prototypu), budou-li se v budoucnu zhotovovat další kusy, pak bude deska navrhnutá a zhotovena přímo pro tuto aplikaci. Elektroniku tvoří systém spínacích prvků. K přepínání jednotlivých měřících okruhů bylo použito 5V jazýčkových relé, která mají malý odběr proudu (10mA). Relé byla použita z důvodu dostupnosti – stejně vhodně lze použít tranzistory (finančně méně náročné). Jako zdroj napětí slouží opět adaptér 5-9V. Napětí je přes konektor přivedeno do přístroje, kde je vyhlazeno elektrolytickým kondenzátorem a poté stabilizováno 5V stabilizátorem 7805. Dále je zařízení doplněno o možnost připojení externí měřicí sondy (Mělo by se jednat o ponorný blok obsahující vysílací a přimací LED diodu. Využití by to našlo např. v titracích, přímých testech kapalin atd.). Tu je možno připojit přes 2 konektory JACK 3,5mm, které jsou přes přepínač napojeny do elektroniky zařízení. Jako měřicí přístroj byl použit panelový digitální V-metr od firmy GES Electronic([www.ges.cz](http://www.ges.cz)), který byl napájen 5V a bez rezistorového děliče napětí má rozsah měření 0-199,9 mV, což je pro tento přístroj ideální. Konstrukce šachet je totožná jako u předchozí

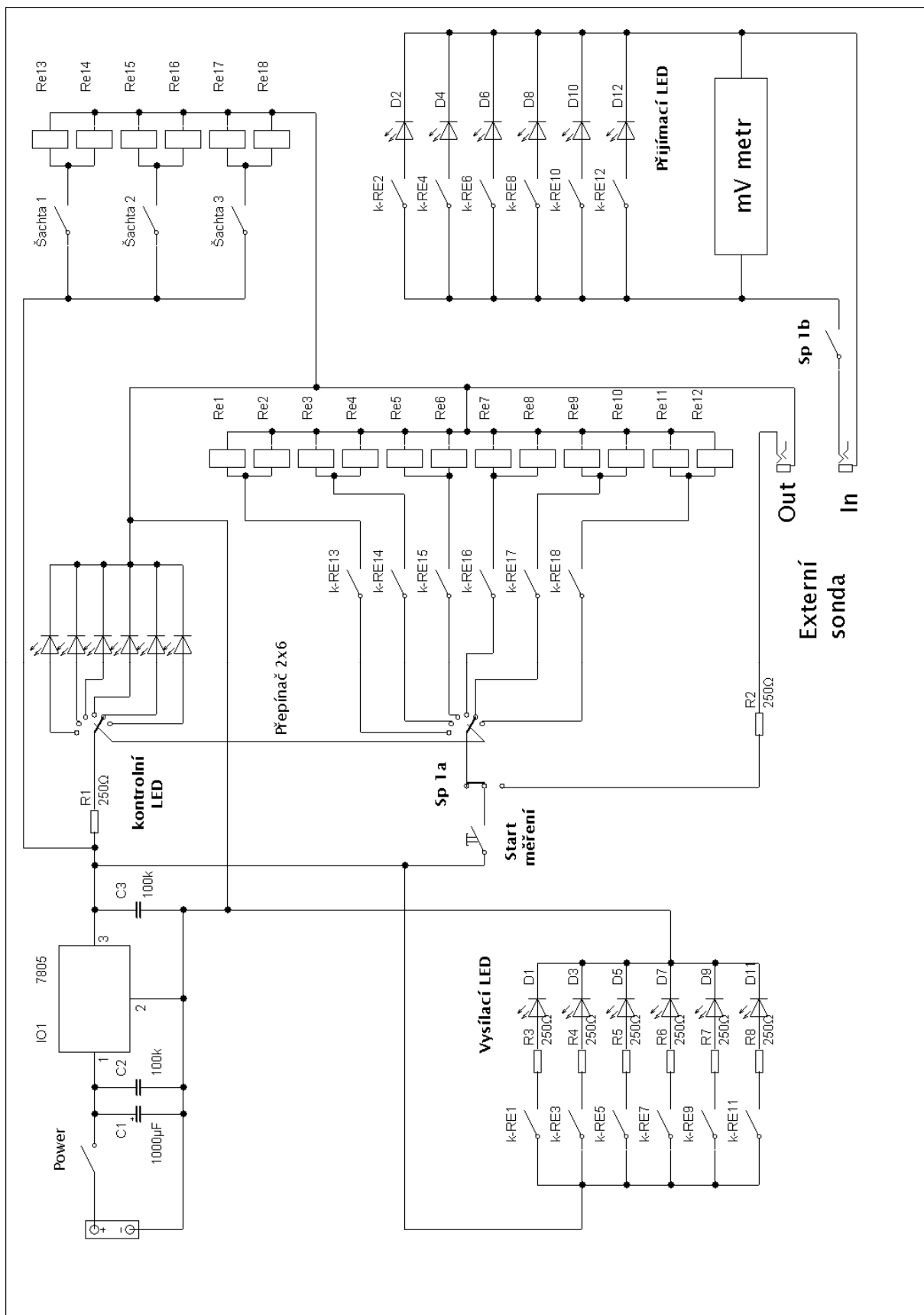
## Konstrukce fotometru pro školskou praxi

---

konstrukce a jsou opět opatřeny spínači proti měření bez kyvet. Další detaily elektroniky jsou zřejmé z níže uvedeného schématu.



**Obr. 7** DPS s elektronikou



Obr. 8 Kompletní schéma elektroniky prototypu B02

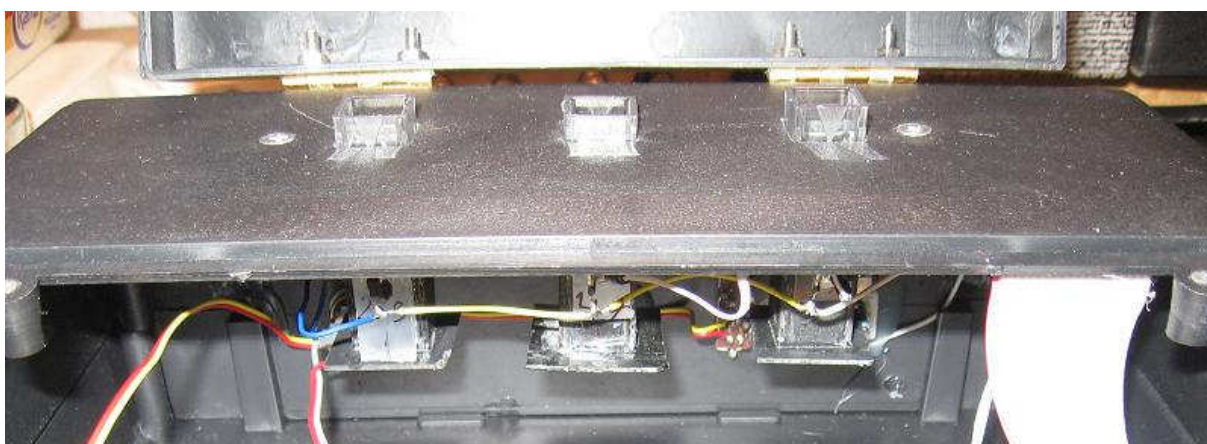
## Konstrukce fotometru pro školskou praxi

---

Celé elektronické zařízení bylo připevněno do plastové konstrukční krabičky U-KP15 opět od GM electronic, která je pro tuto konstrukci asi nejvhodnější. Na horní rovnou plochu dosedá horní díl z plastové krabičky UK29P od firmy EZK ([www.ezk.cz](http://www.ezk.cz)). Ten byl k spodní krabici uchycen pomocí dvou pantů a vytváří tak odklápěcí kryt. Na rovné ploše pod ním byly vyřezány 3 otvory, pod kterými jsou uchyceny kyvetové šachty.



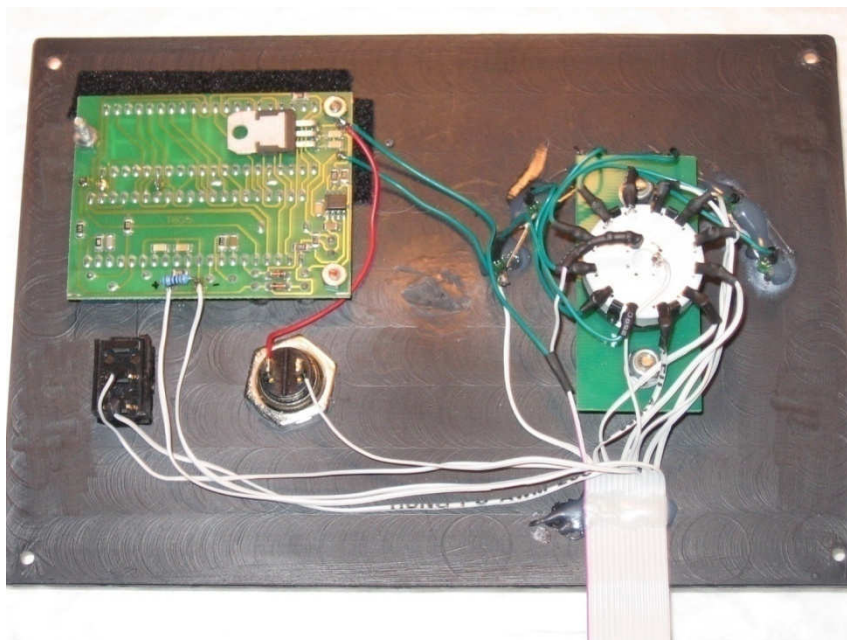
**Obr. 9** Uchycení pantů



**Obr. 10** Šachtová sekce

## Konstrukce fotometru pro školskou praxi

Přední panel je na oddělitelné desce, což nám usnadňuje práci při výrobě. Na panelu byl umístěn přepínač, kontrolní LED diody (není nezbytné pro funkčnost přístroje), tlačítko měření, hlavní vypínač a mV-metr. Výrobní cena tohoto prototypu je přibližně 1200Kč.



Obr. 11 Konstrukce předního panelu



Obr. 12 Kompletní fotometr B02, pohled 1





Obr. 13 Kompletní fotometr B02, pohled 2



Obr. 14 Přepínač jednotlivých LED diod



Obr. 15 Spínače a mV-metr

## 6. *Laboratorní návody*

V této části bude podáno několik jednoduchých návodů do laboratorních cvičení s využitím měření fotometrem. Záměrně byly vybrány lehké návody z důvodu dostupnosti chemikálií. Jako další testy je možné využít např. akvarijní testy, prostředky bazénové chemie apod.

### 6.1 *Stanovení síranu měďnatého*

**Pomůcky:**

Kádinky, odměrná baňka, pipeta, míchací tyčinky, hodinové sklo, plastové kyvety

**Chemikálie:**

H<sub>2</sub>O (destilovaná), CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O

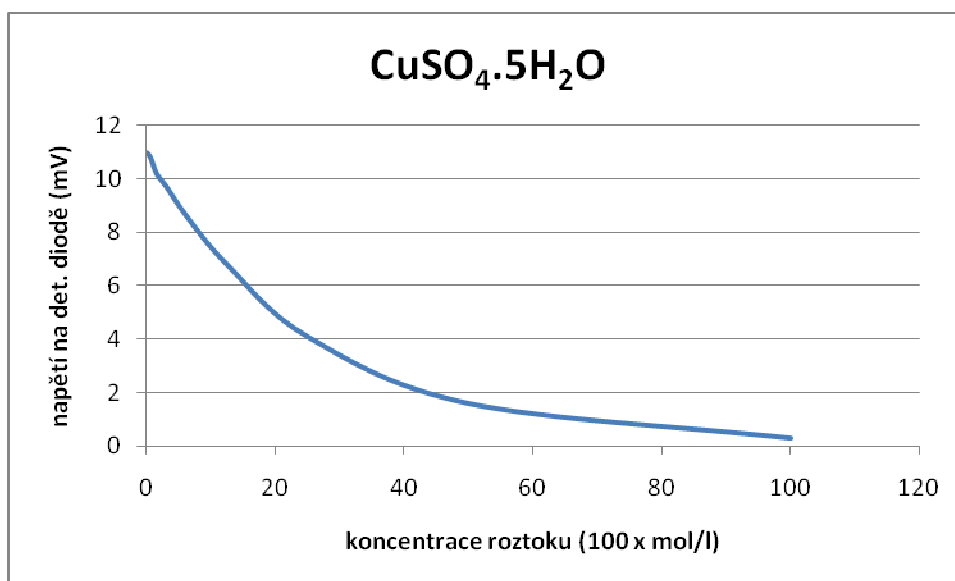
**Postup:**

Připravíme si 50 ml roztoku pentahydrátu síranu měďnatého o koncentraci 1 mol/l. Roztok poté postupně ředíme 1:1 s destilovanou vodou do 6 připravených odměrných baněk. Výsledné vzorky

## Konstrukce fotometru pro školskou praxi

---

dávkuje do kyvet a měříme ve fotometru a z naměřených hodnot sestavíme kalibrační křivku. Pro tuto látku byla zjištěna nejvhodnější (největší odezva na detektoru) vlnová délka 634 nm.



Obr. 16 Získaná kalibrační křivka  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

### Komentář:

Uvedená kalibrační křivka není v uvedeném rozmezí lineární, ale ze získané křivky lze získat dostatečně přesné výsledky pro stanovení koncentrace roztoku síranu měďnatého.

## 6.2 Stanovení síranu nikelnatého

### Pomůcky:

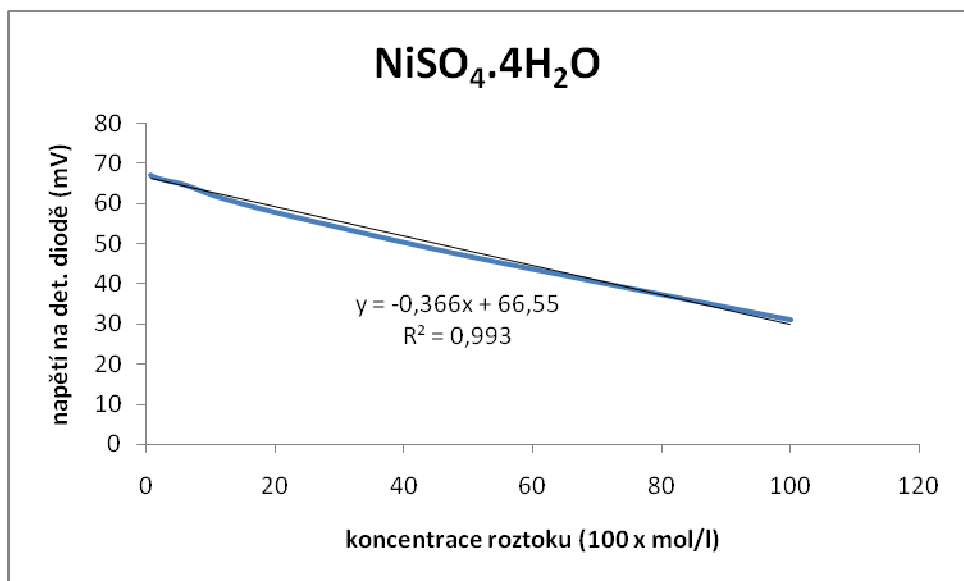
Kádinky, odměrná baňka, pipeta, míchací tyčinky, hodinové sklo, plastové kyvety

### Chemikálie:

$\text{H}_2\text{O}$  (destilovaná),  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

### Postup:

Připravíme si opět 50 ml roztoku hexahydrátu síranu nikelnatého o koncentraci 1 mol/l. Poté roztok poté postupně ředíme 1:1 s destilovanou vodou do 6 připravených odměrných baněk. Výsledné vzorky dávkuje do kyvet a měříme ve fotometru a z naměřených hodnot sestavíme kalibrační křivku. Pro tuto látku byla zjištěna nejvhodnější vlnová délka 514 nm.



Obr. 17 Získaná kalibrační křivka NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O



Obr. 18 Koncentrační barevná škála NiSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O

**Komentář:**

Uvedená kalibrační křivka je v uvedeném rozmezí lineární (lze jí proložit regresní přímkou s  $R^2=0,99$ ). Výpočtem z regresní přímky lze poměrně přesně určit koncentraci roztoku síranu nikelnatého.

### 6.3 Stanovení octanu kobaltnatého

#### Pomůcky:

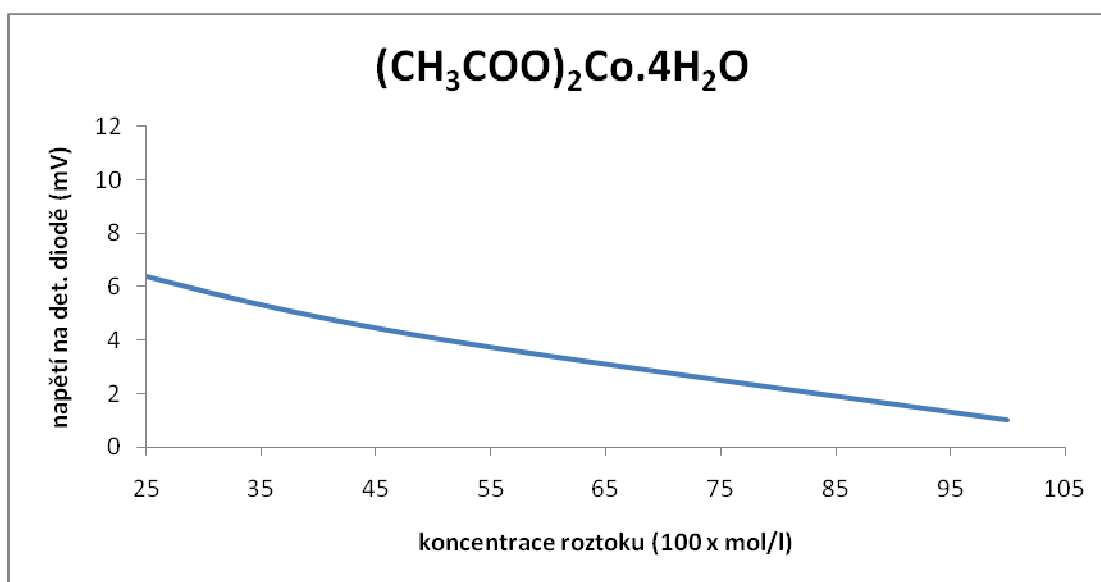
Kádinky, odměrná baňka, pipeta, míchací tyčinky, hodinové sklo, plastové kyvety

#### Chemikálie:

H<sub>2</sub>O (destilovaná), (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Co.4H<sub>2</sub>O

#### Postup:

Připravíme si 50 ml roztoku tetrahydrátu octanu kobaltnatého o koncentraci 1 mol/l. Roztok poté postupně ředíme 1:1 s destilovanou vodou do 6 připravených odměrných baněk. Výsledné vzorky dávkujeme do kyvet a měříme ve fotometru a z naměřených hodnot sestavíme kalibrační křivku. Pro tuto látku byla zjištěna nejvhodnější vlnová délka 634 nm.



Obr. 17 Získaná kalibrační křivka (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Co.4H<sub>2</sub>O

#### Komentář:

Uvedená kalibrační křivka je v uvedeném rozmezí lineární (lze jí proložit regresní přímkou s R<sup>2</sup>=0,98). Výpočtem z regresní přímky lze poměrně přesně určit koncentraci roztoku octanu kobaltnatého.

#### 7.4 Stanovení ferokyanidu draselného

**Pomůcky:**

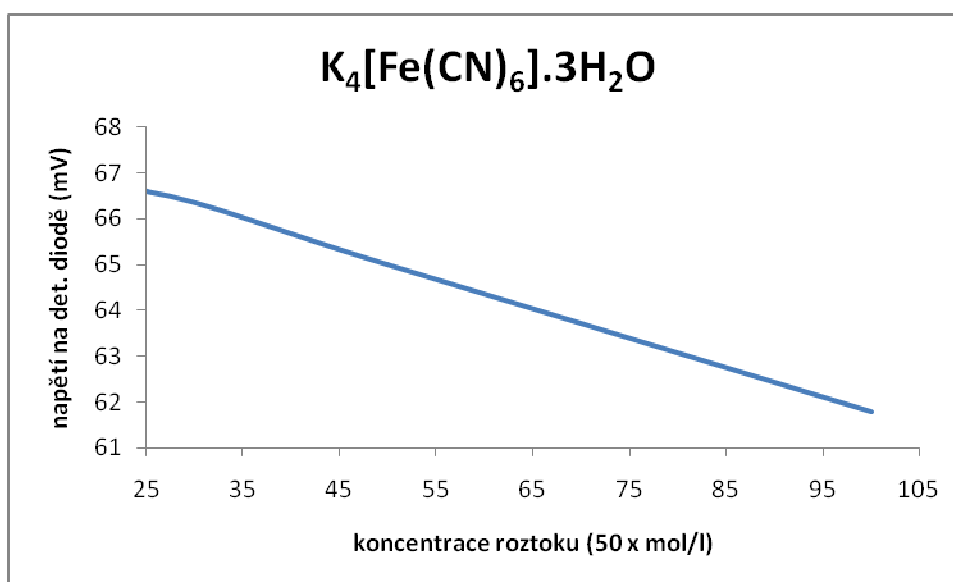
Kádinky, odměrná baňka, pipeta, míchací tyčinky, hodinové sklo, plastové kyvety

**Chemikálie:**

H<sub>2</sub>O (destilovaná), K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>].3H<sub>2</sub>O

**Postup:**

Připravíme si 100 ml roztoku trihydrátu ferokyanidu draselného o koncentraci 0,5 mol/l. Roztok poté postupně ředíme 1:1 s destilovanou vodou do 6 připravených odměrných baněk. Výsledné vzorky dávkujeme do kyvet a měříme ve fotometru a z naměřených hodnot sestavíme kalibrační křivku. Pro tuto látku byla zjištěna nejvhodnější vlnová délka 514 nm.



Obr. 18 Získaná kalibrační křivka K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>].3H<sub>2</sub>O

**Komentář:**

Uvedená kalibrační křivka je v uvedeném rozmezí lineární (lze jí proložit regresní přímkou s R<sup>2</sup>=0,99). Výpočtem z regresní přímky lze poměrně přesně určit koncentraci roztoku trihydrátu ferokyanidu draselného.

## **8. Závěr**

V tomto projektu byly vytvořeny 2 funkční prototypy fotometru. Původní požadavky byly splněny. Zařízení je vytvořeno jako univerzální přístroj s možností dalších rozšíření a vylepšení. Je opatřen výstupem pro externí sondu, která by měla sloužit jako ponorná cela nebo kompaktní blok, který by se dal nasunout na průtokovou kyvetu. Dále je možné systém doplnit o paměť nebo o rozhraní pro připojení k PC. Dále bude vytvořena metodická příručka pro učitele s podrobným popisem stavby a s návody na některé experimenty.

## ***9. Anotace***

Tato práce SOČ s názvem „Konstrukce fotometru pro školskou praxi,“ která byla v soutěži SOČ zařazena do tematického okruhu č.12 „Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie,“ si dala za cíl sestavit a odzkoušet funkční prototyp fotometru vhodného pro školskou praxi. Hlavní důraz byl kladen na univerzálnost (možnost stanovení polutantů životního prostředí, meziproduktů chemické syntézy, základních složek pitných a minerálních vod apod.), funkční odolnost a především finanční dostupnost. Tyto požadavky byly splněny a vzniklo jednoduché a finančně dostupné zařízení použitelné v laboratorních cvičeních z chemie, při projektových dnech, či laboratorních kroužcích na středních školách. Popsaná konstrukce přístroje umožňuje další konstrukční doplnění (průtoková kyveta, ponorná fotometrická cela apod.), na kterých se v současnosti pracuje. V dohledné době bude sepsána ucelená příručka s návodem na stavbu přístroje a se souborem vhodných experimentů pro školskou praxi.



## ***10. Seznam použité literatury***

- [1] DRAGOMIRECKÝ, A., MAYER, V., MICHAL, J., ŘEŘIČHA, K.: Příručka anorganické kolorimetrické analýzy. 1. vyd. Praha: SNTL – SVTL, 1963. 280 s.
- [2] ČUTA, J., a kol. *Jednotné metody chemického rozboru vod*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 449 s.
- [3] KOTLÍK, B., a kol. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro SŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií*. 1. vyd. Praha: Fragment, 2003. 287 s. ISBN 80-7200-521-9.
- [4] HAMILTON, J.R., WHITE, J.S., NAKHLEH, M.B. Development of a Low-Cost Four-Color LED Photometer, *Journal of Chemical Education*. 1996, roč. 73, s. 1052-1054.
- [5] HAUSER, P.C., RUPASINGE, W.T., CATES, N.E. A Multi-Wavelength Photometer Based on Light-Emitting Diodes. *Talanta*. 1995, roč. 42, s. 605-612.
- [6] KNAGGE, K., RAFTERY, D. Construction and Evaluation of a LEGO for Student Use. *Chem. Educator*. 2002, roč. 7, s. 371-375.
- [7] SÝKORA, V., ZÁTKA, V. *Příruční tabulky pro chemiky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1967. 204 s.
- [8] MALÁT, M. *Absorpční anorganická fotometrie*. 1. vyd. Praha: Academia, 1973. 894 s.