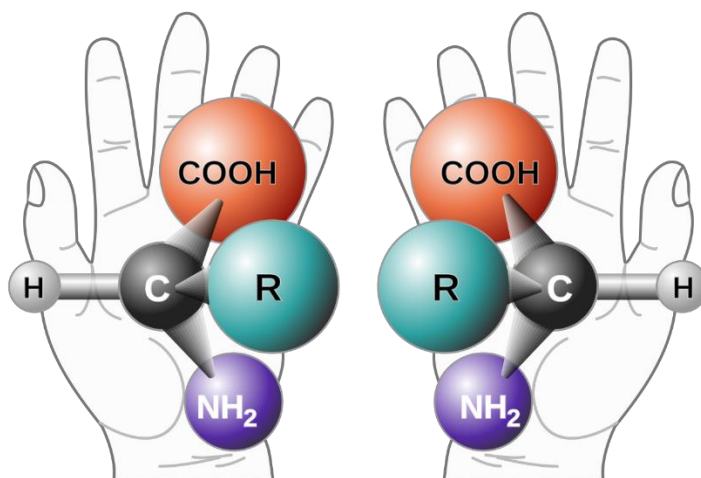


## Návod k úloze s pracovním listem

### Stanovení obsahu cukru v nápojích pomocí mobilního polarimetru

#### Teoretický úvod k úloze:

Organické sloučeniny jsou charakterizovány různými vlastnostmi a definovány mnohými veličinami. Jednou z těchto vlastností může být také optická otáčivost, která byla objevena v roce 1848 francouzským chemikem a mikrobiologem Louisem Pasteurem. Optická otáčivost (nebo také optická aktivita) se projevuje tím, že roztoky opticky aktivních látek (chirální sloučeniny) otáčejí rovinu polarizovaného světla. Jestli látka bude opticky aktivní, či ne, vyplývá z její struktury. Pokud je ve struktuře látky přítomen alespoň jeden uhlík se čtyřmi různými substituenty (viz obrázek č.1) bude tato látka opticky aktivní (jak se tomuto jevu říká dohledejte v rámci odpovědi na kontrolní otázku č.1).



Obrázek č.1 - Znázornění symetrie opticky aktivní látky

Látky opticky aktivní jsou charakterizovány tzv. měrnou otáčivostí. Měrná (specifická) otáčivost  $\alpha$  je úhel, o který roztok otočí rovinu polarizace (schéma tohoto děje je na obrázku níže), tento úhel je definován pro koncentraci 1 g/mL a optickou dráhu 1 dm ( $[\alpha]_D^{20}$  - tabulková otáčivost pro 20 °C). Je patrné, že pozorovaný úhel se mění s rostoucí koncentrací. Pokud odměříme úhel, o který roztok otočí rovinu polarizovaného světla, můžeme pak dopočítat koncentraci látky ve vzorku z následující rovnice.

$$\alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot l \cdot c$$

Kde  $\alpha$  je úhel otočení ( $^\circ$ ),  $[\alpha]_D^{20}$  - je měrná otáčivost při teplotě  $20^\circ\text{C}$  a vlnové délce dubletu D sodíkové výbojky,  $l$  je tloušťka opticky aktivní látky (dm) a  $c$  je koncentrace opticky aktivní látky (g/mL).

Měrná otáčivost (tedy definovaný úhel otočení roviny polarizovaného světla), je udávána v tabulkách (např. tabulka č. 1). Můžete si povšimnout, že optická otáčivost je specifická pro každou látku.

Tabulka č. 1 - Měrné otáčivosti některých látek - ukázka rozdílné optické aktivity

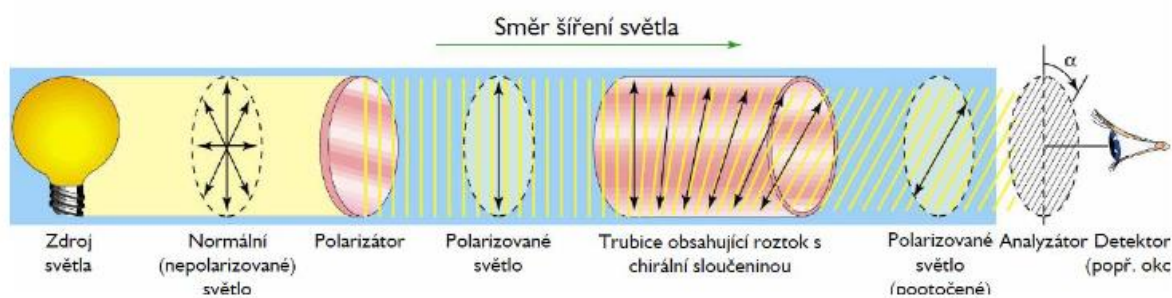
Látka	$[\alpha]_D^{20}$	Látka	$[\alpha]_D^{20}$
dextrin	+ 194,8	maltóza	-137,5
D-fruktóza	-93,78	rafinóza	+ 123,01
D-galaktóza	+ 80,47	sacharóza	+ 66,53
D-glukóza	+ 52,74	škrob	+ 196,4
invertní cukr	-20,59	xylóza	+ 196,4
laktóza	+ 55,3		

1 g/ml FRU - 93,78

1 g/ml GLU + 52,74

2 g/ml - 41,04 : 2 (1 g/ml) = - 20,52 INVERT

V našem případě nezjišťujeme úhel, ale množství prošlého světla, které dopadá na detektor mobilního telefonu (na obrázku 2 je vyobrazené oko jakožto detektor).



Obrázek č.2 – Schéma polarimetru

Pomocí senzoru, který bývá součástí chytrých telefonů, měříme pomocí nainstalované aplikace (senzor + aplikace (např. Photometer PRO) v chytrém telefonu = detektor) osvětlenost (intenzitu osvětlení, lx) prošlého světla, která je závislá na koncentraci látky. Proto musíme sestavit a proměřit kalibrační řadu, pomocí které následně stanovíme koncentraci neznámého vzorku (podobně jako např. při kolorimetrii).

Různé běžně prodávané nápoje obsahují různá množství cukru. Provedené testy pořadu A dost! v roce 2019 odhalily množství cukru v ochucených minerálkách. Zvítězila francouzská voda Perrier Citron s nulovým obsahem cukru, naproti tomu Gemerka citron obsahovala 79 g/L. Pro srovnání: dle Světové zdravotnické organizace bychom denně měli přijmout maximálně 25 – 50 g (6 – 12 kostek) uměle přidaného cukru.



Obrázek č. 3 – Množství cukru v minerálkách vyjádřeno počtem kostek cukru. Jedna kostka cca 4,2 gramy cukru.

## Literatura

Obrázek č.1: [*Chirality with hands*]. In: *Wikipedia.org* [online]. [cit. 15. září 2022]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Chiralita#/media/Soubor:Chirality\\_with\\_hands.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Chiralita#/media/Soubor:Chirality_with_hands.svg)

Obrázek č. 2: J. Poustka [*Princip polarimetrické metody pro stanovení optické aktivity látek*]. In: *web.vscht.cz* [online]. 15. září 2022]. Dostupné z: [https://web.vscht.cz/~poustkaj/AMFA%206-122015\\_CHIRAL\\_JP-Frev102018.pdf](https://web.vscht.cz/~poustkaj/AMFA%206-122015_CHIRAL_JP-Frev102018.pdf)

Obrázek č. 3: Cukr, cukr, cukr! Test ochucených balených vod potvrdil jejich hlavní problém. [cit. 15. září 2022]. Dostupné z: <https://dvojka.rozhlas.cz/cukr-cukr-cukr-test-ochucenych-balenych-vod-potvrdil-jejich-hlavni-problem-7805553#&gid=asset&pid=1>

Tabulka č. 1: J. Poustka [*Princip polarimetrické metody pro stanovení optické aktivity látek*]. In: *web.vscht.cz* [online]. [cit. 15. září 2022]. Dostupné z: [https://web.vscht.cz/~poustkaj/AMFA%206-122015\\_CHIRAL\\_JP-Frev102018.pdf](https://web.vscht.cz/~poustkaj/AMFA%206-122015_CHIRAL_JP-Frev102018.pdf)

Aplikace pro Android: Pardel P.: *Lux Light Meter & Tools - Photometer PRO 4.8.1* [software]. [cit. 15. září 2022]. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pardel.photometer>

## Úkoly:

1. Připravit a proměřit kalibrační řadu roztoku sacharózy pomocí mobilního polarimetru.
2. Proměřit tři neznámé vzorky minerálních vod a na základě grafu kalibrační řady určit o jaké vody se jedná (slazené/neslazené).
3. Analyticky zpracovat naměřené hodnoty.
4. Odpovědět na kontrolní otázky.

## Pomůcky a chemikálie:

Chytrý mobil s aplikací např. Photometer PRO, mobilní polarimetr, přichystané vzorky minerálek nebo limonád (minerálka neslazená, např. Perier Citron – 0 g/L nebo kohoutková voda, minerálka slazená, např. Dobrá voda Citron – cca 50 g/L, limonáda, např. River Indian Tonic Water – cca 80 g/L, správné – odpovídající hodnoty nalezneme na štítku nápojů), kalibrační řada roztoků sacharózy (případně můžou studenti kalibrační řadu připravit)

## Postup práce pro úkol č. 1 – kalibrační řada:

- Připravte si kalibrační řadu roztoků sacharózy ředěním zásobního roztoku o koncentraci 10 g/100 mL (což je 100 g/L). Připravte 5 roztoků o koncentracích 10, 7,5, 5, 2,5, 0 g/100 mL do 50 mL odměrných baněk (případně roztoky připraví učitel).
- Sestavte aparaturu pro polarimetrii:
  - Naplňte kyvetu k polarimetrii roztokem a upevněte ji do držáku na mobil.
  - Nasadte na kyvetu „čepičku“ s LED diodou co nejtěsněji a na mobilu spusťte aplikaci Photometer PRO.
  - Mobil nasměrujte pod kyvetu tak, aby procházející paprsek světla byl co nejvíce uprostřed (viz. obrázek 4).
  - Odměřte hodnotu osvětlenosti třikrát po sobě tím způsobem, že telefon vytáhnete z pod kyvety a následně opět umístíte tak aby procházející paprsek byl co nejvíce uprostřed (viz. obrázek 4).
- Postupně proměřte všechny roztoky kalibrační řady stejným způsobem a získané hodnoty запиšte do tabulky níže – tabulka 2 (aparaturu necháváme sestavenou, pouze odpojíme LED od napájení).
- Získané hodnoty se pak pokuste co nejpřesněji zakreslit do grafu (obrázek 5) a pomocí pravítka zaznačte průběh, který se blíží co nejvíce hodnotám.

- Pomocí tohoto průběhu se pak pokuste slovy formulovat jakou závislost má míra propuštěného světla na koncentraci a důvod tohoto jevu.

### Způsob zapojení polarimetru:



**Obrázek č. 4 – Ukázka správného sestavení aparatury pro měření. Všimněte si světlého červeného terčíku (zelená šipka), který je nasměrován (vycentrován) na senzor mobilního telefonu.**

### Postup práce pro úkol č. 2 – neznámé vzorky:

- Při měření neznámých vzorků postupujte stejně jako v úkolu 1, tedy naplníme kyvetu, třikrát odměříme hodnotu osvětlenosti pro daný vzorek a průměrnou hodnotu si poznačíme do tabulky 3.

- Pomocí grafu (doplňný Obrázek č. 5 o vaše naměřené hodnoty), který jste sestrojili na základě kalibrační řady pak odhadněte jaké koncentraci tyto hodnoty osvětlenosti odpovídají.
- Odhadnuté koncentrace srovnajte s hodnotami uvedenými na etiketách minerálek.

### Postup práce pro úkol č. 3 – analytické vyhodnocení naměřených dat:

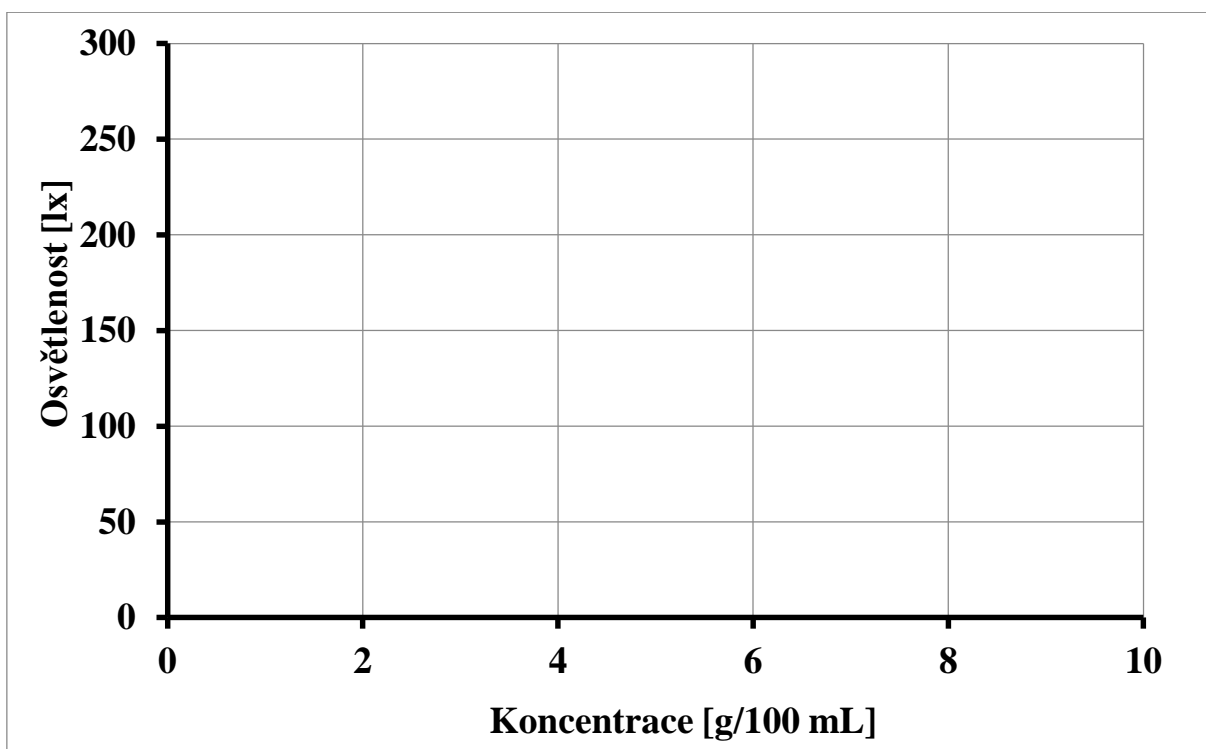
- Tuto část práce děláte doma při zpracování protokolu.
- Z hodnot v tabulce 2 sestrojte graf (např. v programu Excel, nebo do obrázku 5).
- Hodnoty grafu proložte přímkou a získejte rovnici dané přímky.
- Pomocí získané rovnice dopočítejte přesné koncentrace neznámých vzorků, které pak porovnejte s koncentracemi na etiketách (tabulka 3)
- Porovnané hodnoty diskutujte v závěru. V případě, že se hodnoty liší, pokuste se objasnit důvod této neshody.

### Úkol č.4 - Kontrolní otázky:

1. Co způsobuje optickou aktivitu látek a jak tuto vlastnost nazýváme?
2. Co je to polarizační filtr?
3. Jaké další látky kromě cukrů je možné touto metodou stanovit?
4. Proč se mění množství procházejícího světla se změnou koncentrace?

**Tabulka 2 k zaznačení hodnot osvětlenosti kalibrační řady různých koncentrací sacharózy**

Kalibrační řada koncentrace (g/100 mL)	Naměřená hodnota osvětlenosti (lx)			Průměrná hodnota osvětlenosti (lx)
0				
2,5				
5				
7,5				
10				



Obrázek č. 5 – zaznamenáním hodnot z tabulky 2 (průměrné hodnoty) a proložením bodů přímkou získáte graf závislosti osvětlenosti na koncentraci sacharózy kalibrační řady

Tabulka 3 k zaznačení naměřených hodnot osvětlenosti, odhadované koncentraci - dle obrázku 5, určené minerálky a srovnání s hodnotami koncentrace sacharózy uvedené na etiketě neznámých vzorků

Vzorek minerálky	Naměřená hodnota osvětlenosti (lx)	Odhadovaná koncentrace (g/100mL)	Určená minerálka	Koncentrace na etiketě (g/100mL)
Vzorek A				
Vzorek B				
Vzorek C				

Všechny naměřené hodnoty analyticky zpracujte, vypočtete koncentrace vzorků a sepište protokol z celé úlohy včetně závěru a diskuse.

# Metodický list

Metodický list níže je zpracován jako co nejsprávněji vypracovaný protokol. K jednotlivým krokům jsou přidány poznámky pro učitele, tak aby se byli na provedení úlohy co nejlépe připravili. Požadavky na výsledné zpracování protokolu si samozřejmě může každý vyučující upravit podle svých představ.

Název školy		
Jméno:	Laboratorní cvičení	Úloha č. x
	Stanovení obsahu cukru v nápojích pomocí mobilního polarimetru	Datum:
Studijní číslo:		

## Úkoly:

1. Připravit a proměřit kalibrační řadu roztoku sacharózy pomocí mobilního polarimetru.
2. Proměřit tři neznámé vzorky minerálních vod a na základě grafu kalibrační řady určit o jaké vody se jedná.
3. Analyticky zpracovat naměřené hodnoty.
4. Odpovědět na kontrolní otázky.

## Pomůcky a chemikálie:

Chytrý mobil s aplikací např. Photometer PRO, mobilní polarimetr, přichystané vzorky minerálek, kalibrační řada roztoků sacharózy

*Vzorky minerálek zvolené k provedení této práce byly: neslazená a neochucená minerální voda, slazená a aromatizovaná minerální voda a tonik. Výběr nápojů byl zvolen tak aby se jednotlivé koncentrace od sebe co nejvíce lišily, tím pádem, aby byl rozdíl při proměřování jednotlivých vzorků co nejznatelnější. Je důležité vyhnout se minerálkám, které jsou doslazovány dalšími sladidly a zároveň je nutné počítat s mírnou chybou, jelikož většina minerálek v prodeji je slazená z části sacharózou a z části glukózo-fruktózovým sirupem (případně na výsledek mohou mít vliv i jiné složky jako např. aroma).*



*Kalibrační řadu roztoků je třeba upravit podle zručnosti žáků. Polarimetrická kyveta v našem případě má objem 30 mL. Pokud jsou žáci zručnější, vystačí si s 50 mL roztoku, v opačném případě navýšíme množství roztoku na 100 mL. Předpokládá se, že žáci budou pracovat ve skupinách po dvou až třech. V případě tedy 12 žáků bude potřeba alespoň 300 mL, respektive 600 mL od každého roztoku pro 6 skupin a 200 mL, respektive 400 mL od každého roztoku pro 4 skupiny. Z hlediska přípravy velkého množství roztoků je třeba tento krok důkladně rozplánovat.*

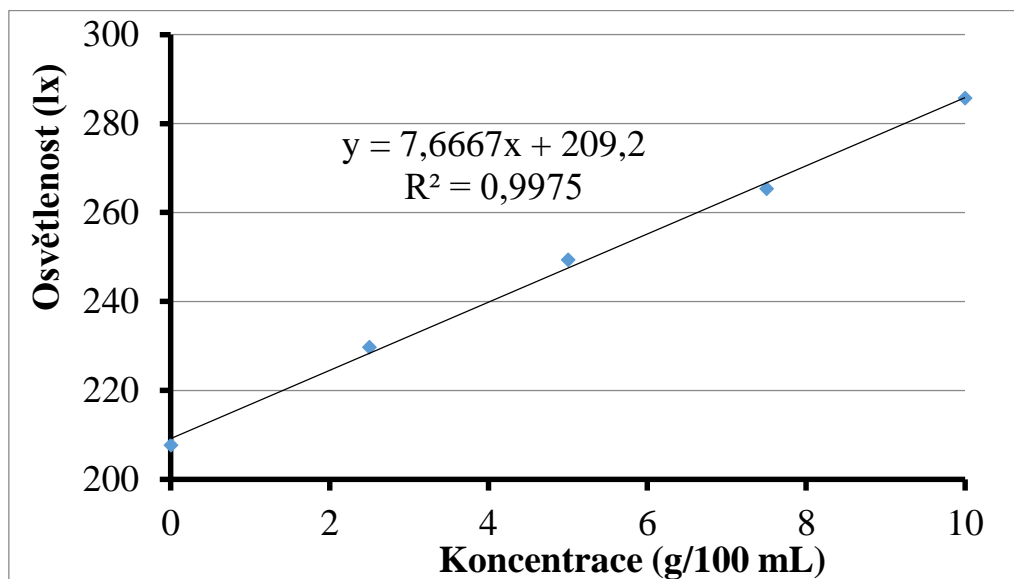
## **Postup práce:**

Byla připravena kalibrační řada roztoků sacharózy o koncentracích 10, 7,5, 5, 2,5, 0 g/100mL ředěním zásobního roztoku 10 g/100 mL. Polarimetrická kyveta byla naplněna prvním roztokem a podle obrázku a pokynů učitele byla sestavena aparatura k polarimetrii. Na mobilu byla spuštěna aplikace Photometer Pro a třikrát jsme odměřili hodnotu osvětlenosti v luxech, ze které jsme následně vypočítali průměrnou hodnotu. Stejným postupem jsme postupovali při proměrování všech roztoků kalibrační řady a neznámých vzorků. Průměrné hodnoty kalibrační řady byly odhadem vyneseny do šablony grafu v návodu a byla určena rostoucí lineární závislost. Pomocí zjištěné závislosti byly odhadnuty odpovídající koncentrace roztoků a přiřazeny ke vzorkům minerálek podle dostupných etiket. Poté (doma) byly výsledky zpracovány a pomocí programu Excel byly koncentrace přesně dopočítány, jak je možno vidět níž.

## **Naměřené hodnoty kalibrační řady:**

<b>Kalibrační řada koncentrace (g/100 mL)</b>	<b>Naměřená hodnota osvětlenosti (lx)</b>			<b>Průměrná hodnota (lx)</b>
<b>0</b>	<b>210</b>	<b>207</b>	<b>206</b>	<b>208</b>
<b>2,5</b>	<b>229</b>	<b>240</b>	<b>220</b>	<b>230</b>
<b>5</b>	<b>246</b>	<b>248</b>	<b>254</b>	<b>249</b>
<b>7,5</b>	<b>256</b>	<b>272</b>	<b>268</b>	<b>265</b>
<b>10</b>	<b>260</b>	<b>307</b>	<b>290</b>	<b>286</b>

## Graf naměřené závislosti:



V tomto kroku se předpokládá, že žáci umí vyhodnotit naměřená data v programu Excel. V případě, že tomu tak není, je vhodné tuto funkci studentům předvést, případně vysvětlit význam determinačního koeficientu apod. Alternativně lze také pracovat s načrtnutým grafem a odhadovanými hodnotami.

## Naměřené hodnoty neznámých vzorků:

Vzorek minerálky	Naměřená hodnota osvětlenosti (lx)			Průměrná hodnota (lx)
A	255	260	245	253
B	275	260	274	269
C	209	204	202	205

Vzorky minerálek dostanou studenti v baňkách poznačených např. fixem písmeny A, B a C. Každý vzorek pak třikrát proměří a vypočítají průměrnou hodnotu, se kterou dále pracují.

## Dopočet koncentrace neznámých vzorků:

$$\begin{aligned}y &= 7,6667x + 209,2 \\x &= (y - 209,2)/7,6667 \\x &= (253 - 209,2)/7,6667 \\x &= \underline{5,76g}\end{aligned}$$

## Tabulka s porovnáním dopočítaných koncentrací s koncentracemi na etiketě:

Vzorek minerálky	Značka vzorku	Naměřená hodnota osvětlenosti (lx)	Určená koncentrace (g/100mL)	Koncentrace na etiketě (g/100mL)
Neslazená minerálka	C	205	0,0	0,0
Slazená minerálka	A	253	5,8	4,8
Limonáda	B	269	7,9	8,6

*Studenti mohou mít k dispozici buď celé etikety, nebo jim poskytneme pouze část etikety s tabulkou energetických hodnot, na které je napsán obsah sacharidů.*

### Odpovědi na kontrolní otázky:

1. Co je to optická aktivita látek a s čím souvisí?
  - Optická aktivita je schopnost chirálních látek stáčet rovinu polarizovaného světla. Optická aktivita souvisí s chiralitou molekul.
2. Co je to polarizační filtr?
  - Je to optický filtr, který způsobuje, že světlo, které přes něj projde, je polarizované obvykle v jedné rovině.
3. Které další látky kromě cukrů je možné touto metodou stanovit?
  - Všechny, které mají chirální uhlík, např. vitamin C, kyselina vinná...
4. Proč se mění množství procházejícího světla se změnou koncentrace?
  - Světlo, které vstupuje do kyvety už je lineárně polarizované filtrem nalepeným na horní straně kyvety. Tento tok světla stáčí opticky aktivní látka uvnitř kyvety. Na druhém konci kyvety je další polarizační filtr, který propustí tolik světla v závislosti na tom, jak hodně se rovina polarizovaného světla otočí „v kyvetě“.

## **Diskuse a závěr:**

Vynesené hodnoty v grafu poskytují rostoucí lineární závislost, podle které lze říct, že s rostoucí koncentrací roztoku sacharózy bude růst i osvětlenost senzoru. Pomocí programu Excel byla získána funkce této závislosti, ze které byly dopočítány koncentrace neznámých vzorků. Ty pak byly srovnány s etiketami dostupných nápojů. Hodnoty nebyly úplně shodné, což může být dáno nepřesným měřením, či použitím jiných cukrů než sacharózy v nápojích.