

MASARYKOVA UNIVERZITA

Přírodovědecká fakulta

C7651 ŠKOLNÍ POKUSY 2 – NÁVODY  
K PRAKTIKU

BRNO 2021

poslední úprava: 8. října 2024

## Zpracovatelé nebo autoři úloh a fotografií:

- Vladimír Bláha
- Kristýna Dohnalová
- Petra Elblová
- Aneta Farková (Benešová)
- Zuzana Fasorová
- Aneta Fuksová
- Ivo Gábriš
- Simona Hanzlíková
- Tereza Holcmanová (Kvasničková)
- Jan Kolář, Ústav experimentální botaniky AV ČR (úloha Experimenty s antokyany, Třpytivé žížaly z pektinu, Papírky pro indikaci  $\text{Al}^{3+}$  ze slupek cibule)
- Šárka Kotasová
- Veronika Krapež (Podešvová)
- Jaromír Literák
- Radek Matuška
- Jakub Nečas
- Klára Nevřelová (Baková)
- Tomáš Pinka
- Václav Piskač
- Leoš Sáblík
- Petr Stadlbauer
- Veronika Švandová
- Petra Tesařová (Jarošová)
- Martin Uchnár
- Magda Zemánková (Jurčíková)



## Rozpis úloh pro pondělní skupiny

- 23. 9. 2024** Kyanotypie a anthotypie.
- 30. 9. 2024** Příprava trihydrátu tris(oxaláto)železitanu draselného a štavelanu železnatého.
- 7. 10. 2024** Tajný inkoust z červeného zelí, papírky pro indikaci  $\text{Al}^{3+}$  z červeného zelí a slupek cibule, neklasické provedení čpavkové a chlorovodíkové fontány, experimenty s antokyany, příprava pyroforického železa, plamenové zkoušky.
- 14. 10. 2024** Výroba šumivé koule do koupele, hoření ocelové vlny na vzduchu, izolace DNA z banánu, demonstrace závislosti rychlosti chemické reakce na teplotě.

# Obsah

Kyanotypie . . . . .	7
Antotypie s využitím kurkuminu . . . . .	9
Antotypie s využitím červené papriky . . . . .	11
Příprava trihydrátu tris(oxaláto)železitanu draselného . . . . .	14
Alternativní příprava trihydrátu tris(oxaláto)železitanu draselného . . . . .	15
Příprava šfavelanu železnatého a pyroforického železa . . . . .	17
Izolace DNA z jahod/banánů . . . . .	19
Neklasické provedení čpavkové a chlorovodíkové fontány . . . . .	20
Experimenty s antokyany . . . . .	21
Výroba barevné limonády . . . . .	24
Tajný inkoust z červeného zelí – indikátor $Al^{3+}$ . . . . .	25
Výroba papírků pro indikaci $Al^{3+}$ z cibulových slupek . . . . .	28
Adsorpce barviv z červeného vína . . . . .	29
Stanovení obsahu kyseliny mléčné v mléce . . . . .	31
Plamenové zkoušky . . . . .	32
Plamenové zkoušky s rozprašovačem . . . . .	32
Plamenové zkoušky s hořícím alkoholem . . . . .	33
Hopsací kulička z vodního skla . . . . .	34
Důkaz přítomnosti rostlinných proteas . . . . .	36
Kapalina nebo pevná látka? (nnewtonovská kapalina) . . . . .	37
Tajné písmo na bázi jedlé sody a kurkuminu . . . . .	38
Experimenty se superabsorbenty . . . . .	40
Mizející voda . . . . .	40
Vliv soli na absorpční kapacitu superabsorbentu . . . . .	40
Hasicí přístroj . . . . .	41
Přeměna mědi ve stříbro a zlato . . . . .	43
Chemický semafor . . . . .	44
Modrá baňka . . . . .	46
Dělení $\alpha$ -aminokyselin pomocí tenkovrstvé chromatografie . . . . .	47
Dělení lipidů pomocí tenkovrstvé chromatografie . . . . .	50
Dělení a identifikace rostlinných listových barviv . . . . .	52
Plastelína z mouky . . . . .	59
Izolace lepku z mouky . . . . .	60
Roztančené rozinky . . . . .	62
Paramagnetismus kyslíku . . . . .	63
Paramagnetický roztok . . . . .	64
Syntéza uhlíkových kvantových teček . . . . .	65
Tajný inkoust na bázi CQD . . . . .	67
Základní chemické zákony – hoření ocelové vlny na vzduchu . . . . .	69

Jodové hodiny – stanovení řádu reakce a rychlostní konstanty . . . . .	70
Demonstrační příprava ethyl-formiátu . . . . .	75
Preparativní příprava ethyl-formiátu . . . . .	76
Příprava fluoresceinu . . . . .	78
Luminiscence fluoresceinu ve skle kyseliny borité . . . . .	79
Chemiluminiscence singletového kyslíku ( $^1\Delta_g$ ) . . . . .	80
Generování singletového kyslíku reakcí NaClO s H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . . . . .	80
Trautzova-Schoriginova reakce . . . . .	81
Stanovení obsahu vitamínu C v přírodním materiálu . . . . .	84
Bělící složky pracích prášků . . . . .	89
Příprava peroxouhličitanu sodného . . . . .	89
Analýza připraveného peroxouhličitanu a pracích prášků . . . . .	90
Elektrolýza v pipetě . . . . .	91
Jednoduchá elektrolýza roztoku NaCl na grafitových elektrodách . . . . .	94
Biodegradabilní plasty . . . . .	96
Alginátové špagety . . . . .	97
Plast ze škrobu . . . . .	98
Třpytivé žížaly z pektinu . . . . .	99
Zkoumání fyzikálně-chemických vlastností syntetických polymerů . . . . .	101
Obří bubliny . . . . .	103
Snímání otisků prstů z předmětu pomocí prášku . . . . .	105
Výroba šumivé koule do koupele . . . . .	105
Demonstrace závislosti rychlosti chemické reakce na teplotě . . . . .	106
Destilace rostlinných silic s vodní parou . . . . .	109
Analýza tonicu . . . . .	112
Stanovení kyseliny citronové v tonicu . . . . .	112
Sublimace kofeinu z kávy nebo čaje . . . . .	114
Domácí výroba mýdla na studené cestě . . . . .	115
Výroba mýdla z rostlinných tuků . . . . .	116
Výroba mýdla z avokáda . . . . .	116
Změna barvy květů po vystavení párám amoniaku . . . . .	120
Důkaz kvality doplňku stravy s $\omega$ -3-nenasycenými mastnými kyselinami . . . . .	120
Barvení vlněného vlákna syntetickými barvivy z potravin . . . . .	122
Extrakce syntetických barviv z potravin a jejich analýza pomocí TLC . . . . .	124
Izolace kaseinu z mléka . . . . .	125
Přesýpací hodiny v krystalu . . . . .	126
Příprava indiga . . . . .	127
Jodometrické stanovení siřičitanů ve víně . . . . .	130
Není barva jako barva, aneb hrátky s chromatografií . . . . .	131
Výroba krému . . . . .	135
Ovlivnění chemické rovnováhy podmínkami . . . . .	136
Příprava alternativního inkoustu ze zeleného čaje . . . . .	140
Experimenty s polyfenoloxidasami . . . . .	143
Sledování hydrolýzy škrobu za katalýzy amylasou z pšenice . . . . .	144
Tajný inkoust z kyseliny salicylové . . . . .	145
Příprava berlínské modři . . . . .	147
Příprava malachitu . . . . .	148
Výroba barev z pigmentů . . . . .	148
Výpočet molární rozpouštěcí entalpie solí ve vodě . . . . .	151

Návod pro obsluhu programu Graphical Analysis . . . . .	153
Stanovení $pK_a$ karboxylových kyselin . . . . .	163
Zařazení kovů do Beketovovy řady kovů – měření napětí elektrochemických článků .	171
Izolace enantiomerů karvonu z přírodního materiálu . . . . .	176
Izolace ( <i>R</i> )-(–)-karvonu ze silice máty klasnaté . . . . .	176
Izolace ( <i>S</i> )-(+)–karvonu ze silice semen kmínu kořenného . . . . .	177

## Kyanotypie

Kyanotypie (fotochemický modrotisk, *κυανός* = modrý) patří spolu s daguerrotypii a talbotypii mezi nejstarší fotografické techniky. Působením světla na fotocitlivé sloučeniny železa vzniká stabilní modrý obraz. Papír nebo jiný materiál je napuštěn směsí hexakvanoželezitanu draselného a vhodné železité soli obsahující organický anion. Chemickou podstatou děje je světlem vyvolaná redukce železitého kationtu organickým aniontem na kation železnatý, který ihned tvoří s hexakvanoželezitanovým aniontem intenzivně modrou sraženinu berlínské (Turnbullovy) modři. Složení vzniklého nerozpustného modrého pigmentu odpovídá vzorci  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ .

Původně byl v kyanotypii využíván citran železito-amonný jako fotocitlivá sůl, ukázalo se však, že zvláště jeho roztoky jsou dobrou živnou půdou pro plísně. Proto k našim experimentům využijeme tris(oxaláto)železitan draselný, jehož menší citlivost ke světlu vyvažuje jeho vyšší stabilita. V komplexním aniontu této soli dochází po absorpci modrého, fialového nebo ultrafialového světla k přenosu jednoho elektronu ze šťavelanového aniontu na železitý kation. Výsledkem je redukce  $\text{Fe}^{3+}$  na  $\text{Fe}^{2+}$  a oxidace ligandu na  $\text{CO}_2$ .



Následuje reakce  $\text{Fe}^{2+}$  s  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$  za vzniku berlínské modři. V místech, kam nedopadlo toto světlo, zůstává nezměněná směs výchozích solí. Aby nedošlo k nežádoucímu zmodrání těchto oblastí, je potřeba obraz ihned po expozici opláchnout vodou a odstranit tak všechny rozpustné soli.

Při dostatečné expozici směsi obsahující šťavelany vzniká v místě expozice tzv. berlínská běl o složení  $\text{Fe}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , která dává exponovanému místu modro-šedé zabarvení. Vznik tohoto zbarvení je proto dobrým ukazatelem okamžiku, kdy by expozice měla být ukončena. Po vymytí solí vodou z neexponovaných míst dochází k ustálení obrazu působením vzdušného kyslíku – obraz postupně získává konečnou modrou barvu díky oxidaci berlínské běli. Proces je možno urychlit opláchnutím obrazu zředěným roztokem peroxidu vodíku.

Berlínská modř je velmi odolná vůči působení světla, vzdušného kyslíku a zředěných slabých kyselin. Zásady však způsobují naleptání berlínské modři a její zežloutnutí.

### Příprava negativů:

- Nejlépe lze kyanotypií reprodukovat obrázky s ostrými přechody, ideální je kresba.



Vhodný obrázek.



Obrázek, který se ke kyanotypii nehodí.

- Obrázek načteme do grafického programu, převedeme jej na černobílý obrázek a následně invertujeme bílou a černou.
- Výsledný negativ vytiskneme pomocí laserové tiskárny na průsvitku formátu A4. Vhodné průsvitky z PET lze zakoupit ve větších papírnicích.
- Lze rovněž zhotovovat kyanotypy rostlin nebo jiných objektů.

### Chemikálie:

Hexakvanoželezitan draselný, trihydrát tris(oxaláto)železitanu draselného, zředěný roztok peroxidu vodíku ( $w \approx 0,003$ ), kyselina citronová.

### Provedení kyanotypie:

- Do tmavých lahví připravíme roztoky solí pro provedení kyanotypie. Roztok A je 12% vodný roztok tris(oxaláto)železitanu draselného, který obsahuje ještě 1 % kyseliny citronové. Roztok B je 7% roztok hexakvanoželezitanu draselného ve vodě.
- V kádince smícháme stejné objemy roztoku A a B a směs důkladně promícháme. **Od tohoto okamžiku je vhodné všechny operace s roztokem a fotocitlivým papírem provádět v prostorách s nízkou intenzitou osvětlení.** Nevhodné je přímé sluneční světlo nebo světlo fluorescenčních zářivek. Vhodné jsou žárovky nebo svítidla s teplejšími tóny.
- Připravíme si kreslicí karton, vhodné jsou levnější typy papíru, které obsahují menší množství bazických plniv, které mohou proces kyanotypie komplikovat. Pomocí molitanové houbičky nanese tenkou vrstvu připraveného roztoku na papír, roztok necháme vsáknout a mírně zvadnout. Spotřeba roztoku by měla být 2–3 cm<sup>3</sup> na jeden papír formátu A4. Impregnovaný papír vysušíme fénem nebo horkovzdušnou pistolí, dbáme na to, aby došlo k rovnoměrnému vyschnutí na celé ploše papíru a také aby teplota vzduchu nebyla příliš vysoká, protože by mohlo dojít k částečnému rozkladu solí. Papír by měl mít sytě zeleno-žlutou barvu.
- K papíru přiložíme polyesterovou folii s vytištěným negativem, zatížíme tabulkou skla a vystavíme slunečnímu světlu. Typická doba expozice se pohybuje v rozmezí jedné a dvaceti minut. Během expozice pozorujeme změnu barvy světla vystavených částí papíru, měli bychom zaznamenat nejdříve zelené, později modré až nakonec šedomodré, popřípadě šedohnědé zbarvení. Nejvhodnější okamžik pro ukončení expozice nastane, když zřetelně pozorujeme počínající blednutí šedého zbarvení plně exponovaných ploch.
- Kyanotyp oplachujeme několik minut tekoucí vlažnou vodou tak, aby došlo k vymytí nezreagovaných solí z papíru. Dobré vymytí poznáme podle vymizení žluté barvy papíru v místech, která byla zakrytá. Nakonec papír s obrazem opláchneme zředěným roztokem peroxidu vodíku.
- Vytvořený obraz vysušíme proudem teplého vzduchu.

### Poznámky:

Při provádění kyanotypie je vhodné zakrýt pracovní stůl mikroténovou fólií. Pokud přeci jen zůstane na nábytku nebo oblečení modrá skvrna berlínské modři, je možné ji odstranit

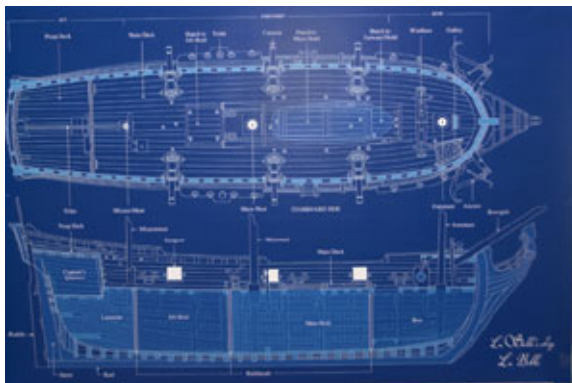
pomocí vodného roztoku sody ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Z tohoto důvodu nejsou vhodné k provádění kyanotypie papíry s velkým obsahem plniv a alkalických aditiv. Podobně textilie s modrotiskem nelze opakovaně prát s běžnými pracími prášky. V tomto případě se doporučuje ruční praní s využitím mýdel na ruce nebo dětských šamponů.

Úspěch kyanotypie závisí také na kvalitě papíru. V papírnictvích se potkáme s kreslicími a rýsovacími kartony (papíry). Kromě odlišné velikosti (rýsovací papír má větší rozměry, než stanoví norma), se liší povrchem. Rýsovací papír má obvykle hladší povrch, je tedy teoreticky méně vhodný pro kyanotypii. Ukazuje se také, že kvalita a obsah aditiv v kreslicích papírech kolísají. Pokud tedy chcete provádět s žáky kyanotypii, je vhodné si kyanotypii s daným papírem vyzkoušet, abyste se vyhnuli nemilým překvapením.

Zkušenost také ukazuje, že čím lépe vysušený fotocitlivý papír je, tím lépe kyanotypie funguje. Je proto vhodné fotocitlivé papíry na několik dní uložit v temnu v papírové složce a až po této pauze je použít.

Barvu vzniklého modrého obrázku lze dodatečně chemicky změnit. Je možné rovněž kyanotypii provádět na textilu nebo dřevěném prknu. Více se můžete dočíst na následující webové stránce <https://www.chemieasvetlo.cz/teorie/fotochemicky-modrotisk/>.

Kyanotypie byla v minulosti oblíbenou metodou kopírování technických výkresů a plánů.



### Doplňující otázky:

1. Vysvětlíte chemickou podstatu klasické černobílé fotografie na bázi halogenidů stříbra.

## Antotypie s využitím kurkuminu

Antotypie je technika, která využívá k tvorbě obrázku fotocitlivé barvivo vyextrahované z rostliny. My v následujícím experimentu využijeme alkoholový extrakt z kurkumy, který obsahuje žlutý kurkumin. Extrakt s barvivem je možné nanést na kreslicí papír. Po odpaření alkoholu vznikne fotocitlivý papír, protože kurkumin podléhá po ozáření slunečním světlem poměrně rychlé fotochemické degradaci. Produkty fotochemické přeměny kurkuminu jsou bezbarvé.

Když k fotocitlivému papíru přiložíme pozitiv černobílého obrázku a papír následně exponujeme, získáme pozitiv obrázku. Obrázek tvořený žlutým kurkuminem je ovšem málo výrazný. Ke zvýraznění obrázku použijeme stejnou reakci jako v experimentu s tajným inkoustem na bázi jedlé sody a kurkuminu. V bazickém prostředí je kurkumin deprotonován a získává červeno-hnědou barvu.

Pozitivы obrázků lze vytisknout na běžných tiskárnách na plastové průsvitky.

### Pomůcky:

Rozprašovač nebo vatové tyčinky (případně vata namotaná na konec špejle), nálevka, tabulová skla, pozitivy obrázku nebo templáty.

### Chemikálie a materiál:

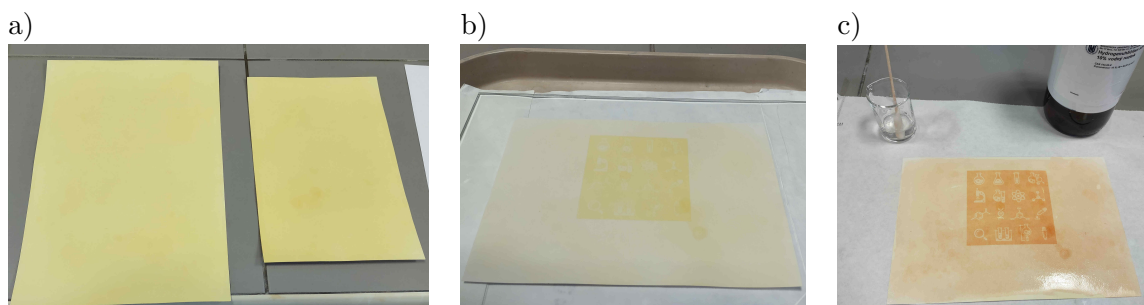
Přibližně 10% roztok jedlé sody ( $\text{NaHCO}_3$ ) ve vodě, mletá kurkuma, ethanol nebo isopropylalkohol, filtrační papír, kreslicí nebo rysovací papíry.

### Postup:

- Smíchejte velkou lžičku mleté kurkumy s 50–100 ml ethanolu a nechte za občasného míchání extrahovat asi 30 minut. Výluh zfiltrujte nebo dekantujte.
- Extrakt nalijte do rozprašovače a aplikujte jej na povrch kreslicího papíru. Pokud nemáte rozprašovač, je možné papír potřít roztokem s pomocí vatové tyčinky. Nechte papír vyschnout.
- Fotocitlivý papír položte na skleněnou tabulku nebo jinou rovnou plochu. K papíru přiložte polyesterovou folii s vytištěným pozitivem obrázku, případně vhodný templát, a zatížte je tabulkou skla. Skla s papírem a pozitivem vystavte slunečnímu světlu. Typická doba expozice závisí na ročním období a povětrnostních podmínkách, může se pohybovat od jednotek minut do desítek minut. Během expozice můžete pozorovat změnu barvu světlu vystavených částí papíru, kdy dochází ke světlání až vymizení žlutého zbarvení.
- Po skončení expozice vyjměte papír ze skel a potřete jej s využitím vatové tyčinky 10% vodným roztokem hydrogenuhličitanu sodného. V důsledku reakce dojde ke změně barvy kurkuminu a ke zvýraznění obrázku. To lze podpořit ještě zahřátím obrázku na přibližně 50 °C.

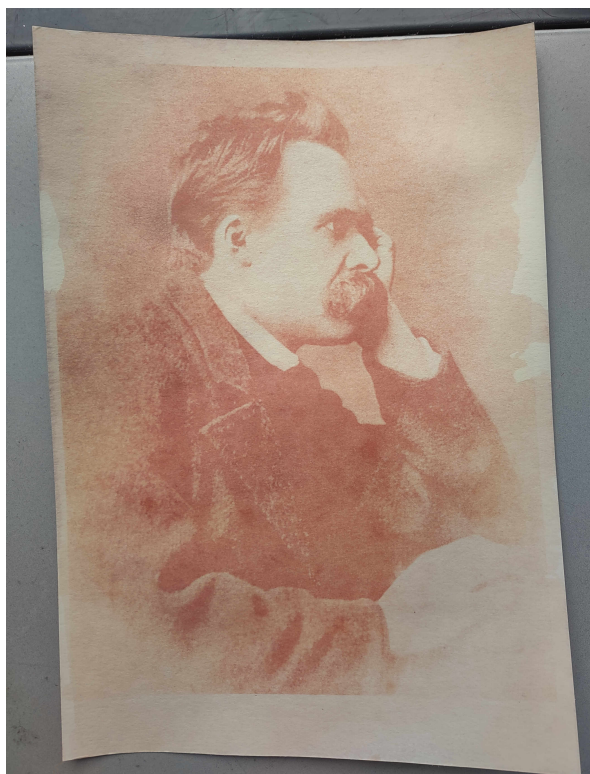
### Poznámky:

Pokud nemáte k dispozici tabulku skla, je možné fotocitlivý papír a folii s pozitivem obrázku vložit do průhledné plastové složky nebo euroobalu.



**Obr. 1:** (a) Papír s naneseným extraktem z kurkumy; (b) fotocitlivý papír po expozici slunečnímu záření; (c) zvýraznění obrázku potřením 10% roztokem hydrogenuhličitanu sodného.

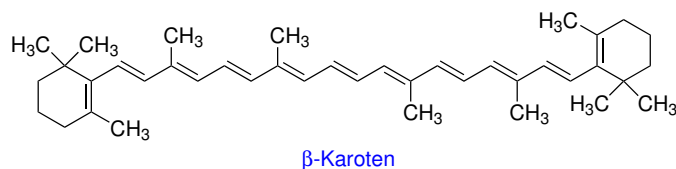
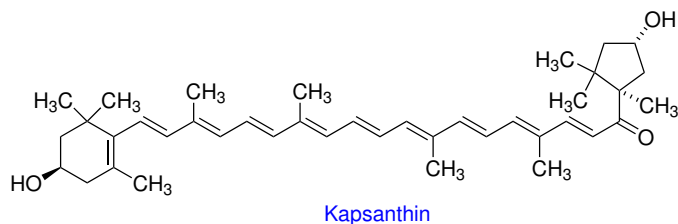




**Obr. 2:** Antotypy po vizualizaci roztokem hydrogenuhličitanu sodného. Horní obrázek vznikl s pomocí pozitivu vytištěného na průsvitku, dolní obrázek byl vytvořen s užitím přírodních templátů.

### Antotypie s využitím červené papriky

Podobně jako extraktu z kurkumy lze pro antotypii využít i ethanolický extrakt z červené papriky. Za červené zbarvení jsou zodpovědné různé lipofilní karotenoidy, např.  $\beta$ -karoten nebo kapsanthin, které jsou podobně jako kurkumin fotochemicky nestálé. Praktické provedení antotypie je analogické jako u extraktu z kurkumy, jen výsledný obrázek bledne i v temnu (vyblednutí je patrné už po několika týdnech).



### Pomůcky:

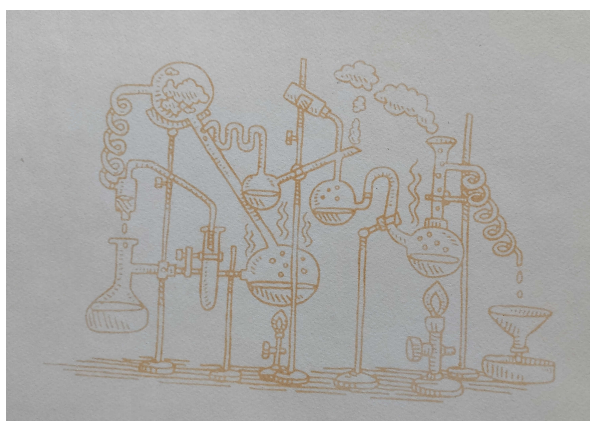
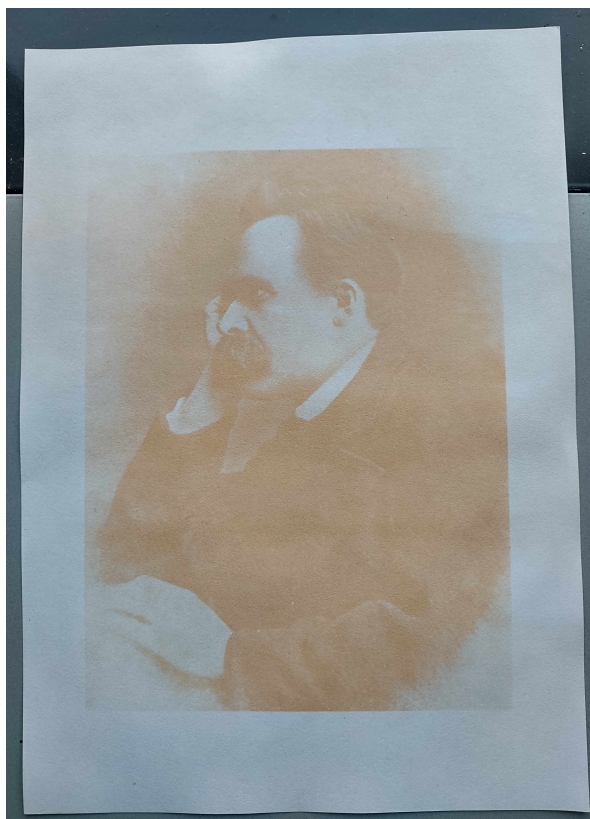
Rozprašovač nebo vatové tyčinky (případně vata namotaná na konec špejle), nálevka, tabulová skla, pozitivy obrázku nebo templáty.

### Chemikálie a materiál:

Mletá sušená červená paprika, ethanol nebo isopropylalkohol, filtrační papír, kreslicí nebo rysovací papíry.

### Postup:

- Smíchejte velkou lžičku mleté červené papriky s 50–100 ml alkoholu a nechte za občasného míchání extrahovat alespoň 30 minut. Výluh zfiltrujte nebo dekantujte.
- Extrakt nalijte do rozprašovače a aplikujte jej na povrch kreslicího papíru. Pokud nemáte rozprašovač, je možné papír potřít roztokem s pomocí vatové tyčinky. Nechte papír vyschnout.
- Fotocitlivý papír položte na skleněnou tabulku nebo jinou rovnou plochu. K papíru přiložte polyesterovou folii s vytištěným pozitivem obrázku, případně vhodný templát, a zatížte je tabulkou skla. Skla s papírem a pozitivem vystavte slunečnímu světlu. Typická doba expozice se pohybuje v nízkých desítkách minut. Během expozice můžete pozorovat změnu barvu světlu vystavených částí papíru, kdy dochází ke světlání až vymizení žlutočerveného zabarvení.
- Po skončení expozice, kdy došlo k téměř úplnému vybělení plně exponovaných částí papíru, vyjměte papír ze skel a uložte jej do temna.



**Obr. 3:** Antotypy vzniklé expozicí papíru impregnovaného ethanolickým extraktem z červené papriky.

**Doplňující otázky:**

1. Karotenoidy se dělí na karoteny a xanthofyly. Příkladem karotenů je  $\beta$ -karoten, příkladem xanthofylů je kapsanthin. Vysvětlete, čím se karoteny a xanthofyly liší.

## Příprava trihydrátu tris(oxaláto)železitanu draselného

### Reakce:

Reakcí železité soli se šťavelanem draselným vzniká komplexní anion tris(oxaláto)železitanový. Draselná sůl tohoto aniontu vykazuje silnou závislost rozpustnosti ve vodě na teplotě. Ochlazením koncentrovaného roztoku proto dojde k vyloučení trihydrátu tris(oxaláto)železitanu draselného.



Roztok tris(oxaláto)železitanu draselného je používán jako tzv. chemický aktinometr k chemickému stanovení intenzity světla. Komplexní anion absorbuje světlo a následně dochází k přenosu jednoho elektronu ze šťavelanového aniontu na železitý kation. Výsledkem je redukce  $\text{Fe}^{3+}$  na  $\text{Fe}^{2+}$  a oxidace ligandu na  $\text{CO}_2$ .



Množství uvolněného železnatého kationtu lze pak různými analytickými metodami stanovit. Uvolňování  $\text{Fe}^{2+}$  světlem a jeho následné reakce s  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  za vzniku modré sraženiny se také využívá v tzv. kyanotypii.

### Chemikálie:

$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ .

### Postup:

V kádince o objemu  $100 \text{ cm}^3$  rozpustíte **40 mmol** hexahydrátu chloridu železitého v  **$16 \text{ cm}^3$**  demineralizované vody. Dále v kádince o objemu  $250 \text{ cm}^3$  rozpustíte za horka **132 mmol** monohydrátu šťavelanu draselného ve  **$40 \text{ cm}^3$**  demineralizované vody. K zahřívání použijte vaříč nebo elektromagnetickou míchačku. Následně za míchání přilijte roztok chloridu železitého k roztoku šťavelanu draselného. Zbytky roztoku, které ulpěly na stěnách kádinky, spláchněte několika  $\text{cm}^3$  vody. Po smíchání roztoků dojde ke změně zbarvení na zelenou. Kádinku s roztokem vložte do ledové lázně a za míchání nechte směs ochladit. Vyloučené krystaly produktu odsajte na fritě.

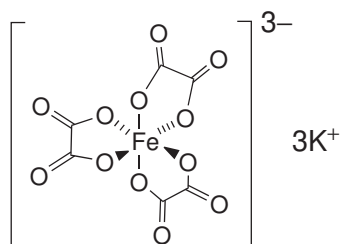
Surový produkt přemístěte do kádinky o objemu  $150 \text{ cm}^3$ , přidejte  **$40 \text{ cm}^3$**  vody a směs v kádince zahřívejte na vařiči a míchejte, až dojde k rozpuštění krystalů. Horký roztok přefiltrujte přes papírový filtr do kádinky a nechte ochladnout v ledové lázni za občasných promíchání. Krystaly odsajte na fritě, odpojte od odsávačky zdroj vakua, ke krystalům přidejte cca  **$5 \text{ cm}^3$**  ledové vody, směs promíchejte a vodu opět odsajte. Poté promytí krystalů opakujte s  **$10 \text{ cm}^3$**  ethanolu.

Rekrystalizovaný produkt sušte ve vakuové sušárně za laboratorní teploty. Poté stanovte výtěžek reakce.

### Vlastnosti:

Trihydrát tris(oxaláto)železitanu draselného krystalizuje v podobě smaragdově zelených krystalů. V měkkém ultrafialovém záření sloučenina zeleně fluoreskuje.

Pomalým odpařováním koncentrovaného vodného roztoku této sloučeniny lze připravit velké smaragdově zelené krystaly. Proces však negativně ovlivňují přítomné nečistoty.



Fyzikálně-chemické charakteristiky výchozích látek a produktů:

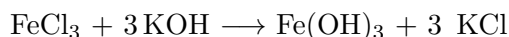
Látka	$M / (\text{g mol}^{-1})$
$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	184,23
$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	270,30
$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	491,24

Navážky reaktantů a teoretický výtěžek produktu:

	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$
$m/\text{g}$			
			%

## Alternativní příprava trihydrátu tris(oxaláto)železitanu draselného

Tris(oxaláto)železitan draselný je možné připravit alternativním způsobem z kyseliny šťavelové, hydroxidu draselného a chloridu železitého. Přidáním roztoku chloridu železitého do roztoku šestinásobného látkového množství hydroxidu draselného dojde k vysrážení hydroxidu železitého.



Po přidání roztoku kyseliny šťavelové dojde k neutralizaci zbývajících hydroxidu draselného za vzniku šťavelanu draselného a k rozpuštění sraženiny hydroxidu železitého. Reakcí železitých iontů se šťavelanem draselným vznikne zelený roztok tris(oxaláto)železitanu draselného, který po ochlazení vykrytalizuje jako trihydrát.



### Chemikálie:

Dihydrát kyseliny šťavelové,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ , KOH.

### Postup:

- V kádince o objemu 50–100 ml rozpustíte **0,040 mol** hexahydrátu chloridu železitého v **15 ml** demineralizované vody.

- V kádince o objemu 250 ml rozpustíte **0,267 mol** KOH ve **40 ml** demineralizované vody. Následně k tomuto roztoku za míchání přilijte vodný roztok  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ . Zbytky roztoku chloridu železitého spláchněte několika mililitry vody. Vznikne hnědočerná hustá sraženina.
- Kádinku se suspenzí postavte na elektromagnetickou míchačku s ohřevem nebo vaříč a zahřejte na přibližně **80 °C**.
- V kádince o objemu 100–150 ml připravte směs **0,133 mol** dihydrátu kyseliny šťavelové a **25 ml** demineralizované vody a směs následně za míchání zahřejte na přibližně **80 °C**, až dojde k rozpuštění krystalů kyseliny šťavelové.
- Roztok kyseliny šťavelové za míchání přidejte k ohřáté suspenzi  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  a kádinku spláchněte několika ml vody. Směs v kádince intenzivně míchejte, až dojde k rozpuštění sraženiny a vznikne zelený roztok.
- Kádinku s roztokem za míchání chladte v ledové lázni, až dojde k vyloučení zelených krystalů produktu. Krystaly odsajte na Büchnerově nálevce nebo fritě.
- Surový produkt přemístěte do kádinky o objemu 150 ml a přidejte **40 ml** demineralizované vody. Směs za míchání zahřívajte, až dojde k rozpuštění krystalů. Horký roztok přefiltrujte přes hladký filtr. Filtrát v kádince vložte do ledové lázně a za občasného míchání nechte vyloučit krystaly rekrystalovaného produktu.
- Krystaly odsajte na Büchnerově nálevce nebo fritě a nakonec je promyjte cca **30 ml** ethanolu. Rekrystalizovaný produkt sušte ve vakuové sušárně za laboratorní teploty. Poté stanovte výtěžek reakce.

#### Fyzikálně-chemické charakteristiky výchozích látek a produktů:

Látka	$M/(\text{g mol}^{-1})$
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	126,07
KOH	56,1056
$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	270,30
$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	491,24

#### Navážky reaktantů a teoretický výtěžek produktu:

	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	KOH	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$
$m/\text{g}$				
				%

## Příprava šťavelanu železnatého a pyroforického železa

### Reakce:

Šťavelan železnatý získáme srážecí reakcí mezi vodným roztokem zelené skalice (heptahydrát síranu železnatého) a kyselinou šťavelovou.



Zahřátím vzniklého produktu v nepřítomnosti vzduchu vzniknou jemné částice železa, které jsou na vzduchu samozápalné (pyroforické).



V tomto experimentu bude malé množství žlutě zbarveného šťavelanu železnatého zahříváno ve zkumavce. Vznikající oxid uhličitý, který je těžší než vzduch, bude částečnou ochranou pyroforického železa před oxidací.

### Chemikálie:

$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , roztok  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $c = 1 \text{ mol dm}^{-3}$ ).

### Příprava šťavelanu železnatého:

- V kádince připravte roztok **6 g** heptahydrátu síranu železnatého ve **20 cm<sup>3</sup>** demineralizované vody okyselené **2–3 kapkami** 1M- $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
- Ve druhé kádince připravte roztok **4 g** dihydrátu kyseliny šťavelové ve **35 cm<sup>3</sup>** demineralizované vody.
- Za stálého míchání přilijte roztok kyseliny šťavelové k roztoku síranu železnatého.
- Suspenzi produktu zahřejte k varu, dojde ke sbalení sraženiny.
- Po vychladnutí suspenze produkt odfiltrujte na Büchnerově nálevce, promyjte vodou a ethanolem. Produkt nechte vyschnout na vzduchu.

### Příprava pyroforického železa:

- Na dno zkumavky nasypete malé množství šťavelanu železnatého, konec zkumavky opatrně rovnoměrně zahřívejte a její obsah opatrně protřepávejte. Obsah postupně přechází na šedou práškovou látku a dochází k vývoji plynu.
- Obsah zkumavky po skončení reakce rychle vysypejte do misky s pískem nebo do jiné nehořlavé nádoby.



Obr. 4: Hoření čerstvě připraveného pyroforického železa

**Doplňující otázky:**

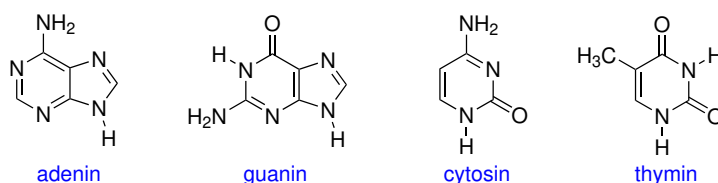
1. Jakou jinou železnatou sůl byste mohli použít pro přípravu štavelanu železnatého?
2. Bylo by možné místo kyseliny štavelové pro srážecí reakci použít roztok štavelanu draselného nebo štavelanu vápenatého? Vysvětlete.
3. Jemně dispergované železo tvoří náplň některých typů ohřívačů rukou. Proč v případě ohřívačů rukou nehrozí sebevznícení náplně, když dochází ke stejné reakci jako v případě pyroforického železa?



## Izolace DNA z jahod/banánů

Deoxyribonukleová kyselina (DNA) je obsažena v každé buňce a zodpovídá za správný přenos genetické informace z generace na generaci. DNA je chemicky poměrně stabilní, a právě proto je vhodným informačním úložištěm. V minulosti pravděpodobně sloužila k ukládání genetické informace molekula ribonukleové kyseliny (RNA), ale díky jejímu snadnému štěpení sebou samou se pravděpodobně vyvinula DNA, která tuto sebeštepící schopnost nemá. U eukaryotických organismů je DNA uložena v jádře buňky. DNA je rozdělena do několika chromozomů. Počet unikátních chromozomů je v každé buňce stejný a je charakteristický pro daný organismus. Například u člověka je to 23. Tato tzv. sada chromozomů bývá v buňkách často ve více kopiích. Většina tělních buněk člověka je diploidní, což znamená, že buňky obsahují dvě homologní sady chromozomů, celkem tedy 46. Polyploidie (triploidie, tetraploidie atd.) je pro živočichy obvykle smrtelná, ale u rostlin se vyskytuje často. U hospodářsky významných rostlin se někdy záměrně šlechtí polyploidní odrůdy, protože dosahují vyšších výnosů než původní diploidní odrůdy. A to je i případ triploidních a tetraploidních banánů a oktaploidních jahod. Pro nás to znamená nejen vyšší výnos na poli a plantáži, ale také vyšší výnos DNA při izolaci.

DNA je polymer skládající se z navzájem spojených nukleotidů. Nukleotid je sloučenina kyseliny fosforečné, sacharidu deoxyribosy a dusíkaté heterocyklické báze. DNA obsahuje čtyři základní báze (obrázek níže). Genetická informace je v molekule DNA nesena v podobě pořadí těchto bází.



Nejprve bude třeba jahody/banány rozmačkat a rozrušit buněčné a jaderné membrány. Poté se přistoupí k samotné izolaci DNA.

### Chemikálie a materiál:

Ovoce (banán nebo jahody), tekuté mýdlo, chlorid sodný, ethanol, filtrační papír (nebo filtry pro překapávače kávy).

### Postup:

#### *Příprava extrakčního pufru:*

- Jedna skupina připraví extrakční pufr pro všechny – 100 ml vody smíchejte s 1 ml (1 g) mýdla a 1 g NaCl. Směs by neměla být příliš kalná. Rozdělte si pufr mezi všechny skupiny pracující na extrakci DNA, každá skupina bude potřebovat 25 ml tohoto pufru. Před samotným použitím během extrakce pufr znovu promíchejte.

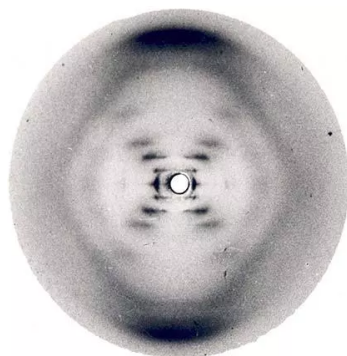
#### *Extrakce:*

- Vezměte 1 jahodu/čtvrtku banánu a velmi důkladně ji rozmačkejte ve vhodné nádobě. Poté k ní přilijte 25 ml extrakčního pufru a směs důkladně promíchejte. Pak směs přefiltrujte přes papírový filtr do 250 ml kádinky. Pokud se vám při filtraci protrhne papír, ustrihněte si nový filtr a filtraci opakujte.
- V jiné nádobě vychlaďte přibližně 80 ml ledového ethanolu.

- Opatrně nalijte ethanol k jahodovému extraktu po stěně kádinky tak, aby vytvořil oddělenou vrstvu na jahodové vrstvě. Na rozhraní extrakt-ethanol se začne srážet DNA. Nechte probíhat srážení po dobu 10 minut.
- Vysráženou DNA vyjměte z kádinky pomocí skleněné tyčinky nebo jiného podobného nástroje a vložte ji do zkumavky. Pomocí pipety nebo savé látky odstraňte ze zkumavky přebytečný ethanol. Pochlubte se se svým výsledkem.

### Doplňující otázky:

1. Následující obrázek je jednou z nejslavnějších vědeckých fotografií dvacátého století. Uveďte, co snímek zachycuje a kdo tento snímek pořídil. Co jej činí tak významným? Znali jste již jméno nebo jména těchto osob, případně historický význam tohoto experimentu?<sup>1</sup>



## Neklasické provedení čpavkové a chlorovodíkové fontány

Amoniak a chlorovodík jsou plyny, které se velmi dobře rozpouštějí ve vodě. Výsledkem je zmenšení objemu plynu a pokles tlaku (v baňce). V klasickém provedení experimentu se do vody přidávají acidobazické indikátory. K indikaci kyselého a bazického pH roztoku však lze využít snadno dostupný extrakt antokyanů z červeného zelí.

### Chemikálie a materiál:

Červené zelí, baňka 500 ml s kulatým dnem, zátka s trubicí na konci zúženou, která zasahuje do baňky, velká kádinka nebo akvárium, 25% vodný roztok amoniaku, 35% roztok chlorovodíku, kahan.

### Postup:

- Spařte listy červeného zelí horkou vodou a nechte barviva extrahovat přibližně 1 hodinu. Extrakt barviv dekantujte do velké kádinky.
- Do silnostěnné baňky s kulatým dnem nalijte asi 2 ml koncentrovaného roztoku amoniaku nebo chlorovodíku. Baňku uzavřete zátkou s trubicí.
- Zahřívejte opatrně baňku nad plamenem kahanu, až se vnitřní prostor baňky naplní vyvařeným plynem.
- Ponořte trubicí do kádinky s vodným extraktem barviv.

<sup>1</sup>Velmi zdařilou interpretaci obrázku najdete v článku, který se skrývá pod následujícím odkazem: <https://doi.org/10.1021/ed076p378>

## Experimenty s antokyany

Růžové, červené, fialové a modré květy často obsahují ve vodě rozpustná barviva antokyany. Antokyany najdete v rostlinném světě skoro na každém kroku. Kromě mnoha květů zbarvují také plody – třeba jahody, borůvky a ostružiny – nebo červené podzimní listy. Zajímavé je, že v kyselém prostředí mají tyto látky jinou barvu než v zásaditém. V kyselém prostředí (tedy při pH nižším než 7) jsou obvykle růžové až červené. V zásaditém prostředí (při pH vyšším než 7) jsou pak modré, modrozelené až zelené.

V přírodě existují desítky různých antokyanů, které se poněkud liší svou barvou a reakcí na pH. Všechny ale mají podobnou chemickou strukturu, tvoří tedy jednu skupinu látek.

Některé rostliny obsahují místo antokyanů jiné typy barviv – karotenoidy nebo betakyany. V takovém případě se barva se při různém pH nezmění.

V klasickém provedení se antokyany extrahují do vody (například je možné materiál spařit horkou vodou) a následně se u extraktu například demonstruje změna jeho barvy v závislosti na pH. Tento experiment vyžaduje poměrně velké množství rostlinného materiálu. Vy si vyzkoušíte odlišný přístup – antokyany budou vymačkány do svého filtračního papíru a následně bude zkoušena jejich reakce na pH.

### Chemikálie a materiál:

Kyselina citronová, jedlá soda ( $\text{NaHCO}_3$ ), filtrační papír nebo jiný tuhý savý papír, folie nebo euroobaly, kádinky (400–600 ml) nebo sklenice či kelímky o podobném objemu, savé papíry (papírové ručníky, kapesníky...).

Rostlinný materiál bohatý na antokyany:

- Červené zelí, černá mrkev, ředkvička, borůvky, jahody, maliny, ostružiny, granátové jablko, červené bobule hroznového vína, ovocný čaj s ibiškem...
- Korunní lístky růžových, červených, fialových či modrých květů. Vhodné jsou třeba modrofialová violka, růžová pivoňka a červené pelargonie.
- Červené a červeno-žluté podzimní listí rostlin.

### Postup:

- Ve velkých kádinkách si připravte vodné roztoky jedlé sody (15 g  $\text{NaHCO}_3$  na 500 ml vody) a kyseliny citronové (12 g na 500 ml vody).
- Z (filtračního) papíru vystříhnete proužky o rozměrech přibližně  $7 \times 10$  cm, případně velikost přizpůsobte velikosti rostlinného materiálu.
- Kousek rostliny vložte mezi dva proužky papíru a vše vložte mezi dvě plastové folie (euroobaly). Následně rostlinu rozmačkejte vhodným předmětem (hříbkem na zašívání ponožek, pevnou skleněnou lahví, lžící, v laboratoři se osvědčila skleněná baňka s kulatým dnem). Pokud je folie průhledná, můžete sledovat, jak barevný roztok vsakuje do papíru).
- Když vidíte, že se barvivo z květů vsálo do papíru, vyndejte papírové proužky z desek a odstraňte z nich rozmačkané zbytky rostliny.
- Jeden ze dvojice papírků ponořte na 2–3 sekundy do roztoku kyseliny citronové, druhý do roztoku jedlé sody. Nemačkejte papírek příliš dlouho, aby se z něj barvivo nevymylo do roztoku. Papírky následně lehce osušte mezi dvěma papírovými kapesníky nebo ubrousky.

- Proužky papírku položte na vhodnou podložku a pozorujte barevnou změnu. V některých případech trvá několik minut, než se vodný roztok dostane k barvivu zachyceném v papíru.

### Komentář:

Některé listy rostlin barví intenzivněji jen proužek papíru přiléhající ke spodní straně listu. Proto je potřeba proceduru opakovat, abyste pro experiment dostali dva papírky s podobným množstvím barviva.

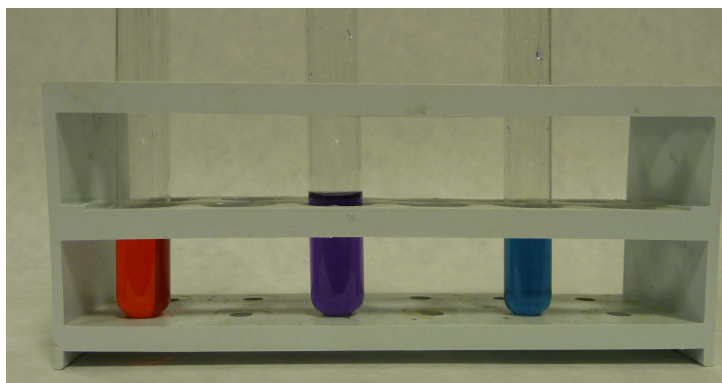
V některých květech jsou kromě antokyanů také jiné barevné sloučeniny. Ty mohou ovlivnit výslednou barvu po namočení do roztoku.

Papírky můžete po skončení pokusu usušit a schovat si je. Barvy ovšem nejsou úplně stálé. Zvláště u papírků ponořených do roztoku jedlé sody probíhají na vzduchu ještě další chemické reakce a původní modrá nebo zelená barva postupně přecházejí do žluté až hnědé.

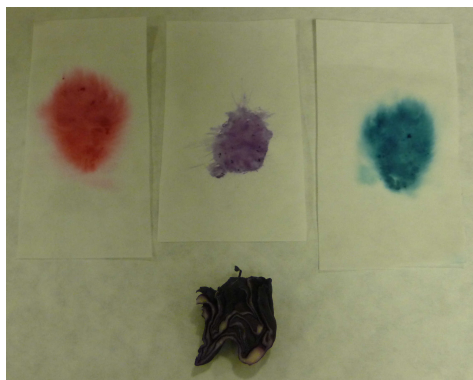
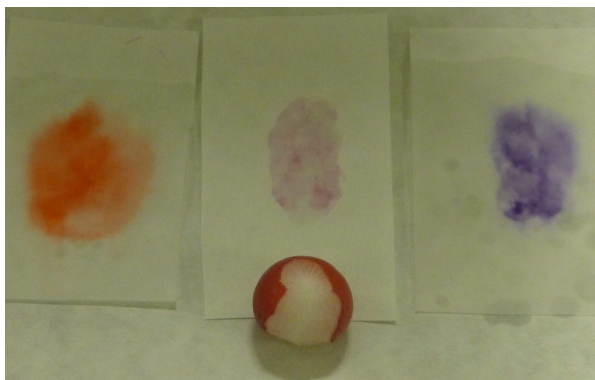
Domácí alternativou filtračního papíru mohou být papírové filtry do překapávače kávy a čaje. Pokud je nemáte, zkuste použít jiný savý papír, který je dostatečně pevný.

### Doplňující otázky:

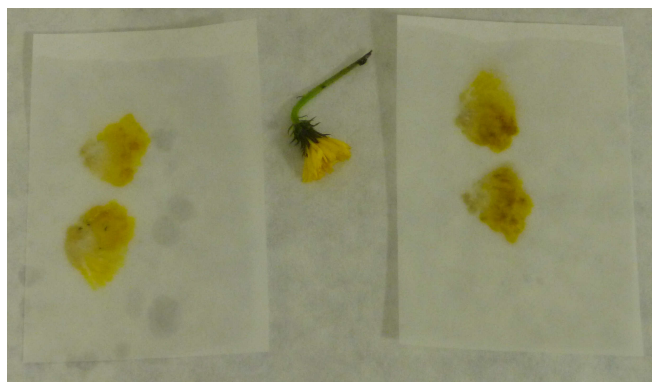
1. Pořídte fotodokumentaci výsledků svých experimentů a fotografie v podobě jednoho dokumentu odevzdejte.
2. Co způsobuje dobrou rozpustnost antokyanů ve vodě?
3. Vyhledejte, jaké antokyaniny jsou obsaženy v rostlinách, se kterými jste experimentovali a uveďte jejich strukturní vzorce.
4. Listy některých rostlin na podzim červenejí, protože se v nich nově syntetizují antokyaniny. Pokuste se odhadnout, jakou funkci tato barviva v listech plní.



**Obr. 5:** Vodný extrakt antokyanů vzniklý spařením červeného zelí a jeho reakce na pH. Vlevo je okyselený extrakt, uprostřed neutrální extrakt a vpravo extrakt s přidanou zásadou.

**A****B****C****D**

**Obr. 6:** Reakce antokyanů obsažených v červeném zelí (A), ředkvičce (B), červeném listu rostliny (C) a modré bobuli stejné rostliny (D) na pH. Papírek vlevo má kyselou reakci, uprostřed je neutrální pH, vpravo bazické pH.



**Obr. 7:** Květ, který neobsahuje antokyaniny a jeho barva se s pH nemění. Papírek vlevo má kyselou reakci, vpravo má papírek bazické pH.





**Obr. 8:** Reakce antokyanů obsažených v různých květech na pH. Papírek vlevo má kyselou reakci, vpravo má papírek bazické pH.

## Výroba barevné limonády

Experiment popisuje výrobu šumivého nápoje barveného přírodními rostlinnými barvivy, která jsou extrahována například z červeného zelí nebo borůvek. Smícháním zásaditého roztoku hydrogenuhličitanu sodného s kyselým roztokem kyseliny citronové dochází k neutralizaci a k uvolňování oxidu uhličitého, který zajišťuje charakteristické šumění. Červené zelí a borůvky obsahují mnoho anthokyanů, které jsou charakteristické závislostí barvy na pH.

### Pomůcky:

Kádinky, skleněné tyčinky, nůž, odměrný válec, laboratorní váhy.

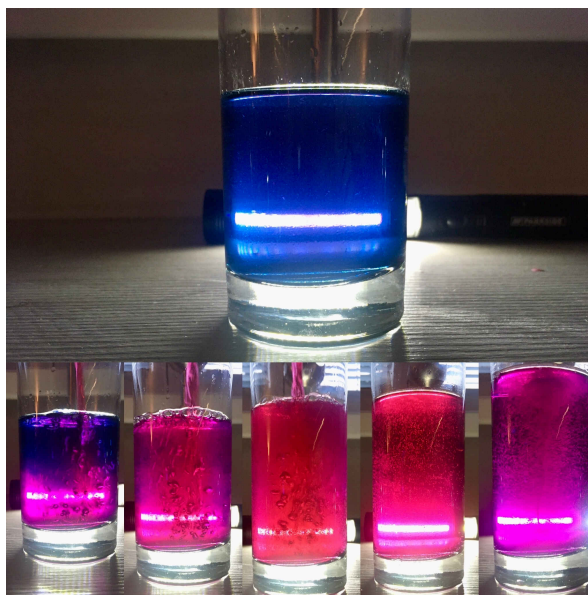
### Chemikálie a suroviny:

Jedlá soda, kyselina citronová, destilovaná voda, červené zelí, borůvky (borůvkový kompot).

### Provedení:

Nakrájejte listy červeného zelí na malé kousky a zalijte je horkou vodou. Po cca 20 minutách extrakt dekantujte. První kádinku naplňte asi 10 ml extraktu a doplňte do jedné třetiny vodou. Dále k extraktu přidejte malé množství jedlé sody; asi tolik, aby roztok získal po jejím rozpuštění světle modrou barvu. Druhou kádinku do poloviny naplňte vodou a rozpusťte v ní asi 0,5 g kyseliny citronové. Následně roztoky z obou kádinek smíchejte, čímž vznikne růžový šumivý nápoj (výsledná barva závisí na pH roztoku po neutralizaci, pokud byste použili větší množství zásady bude modrá). V případě borůvek bude postup velmi podobný. Zajímavého

efektu lze dosáhnout, když roztoky nejsou dokonale smíseny v celém objemu a jsou patrné barevné přechody.

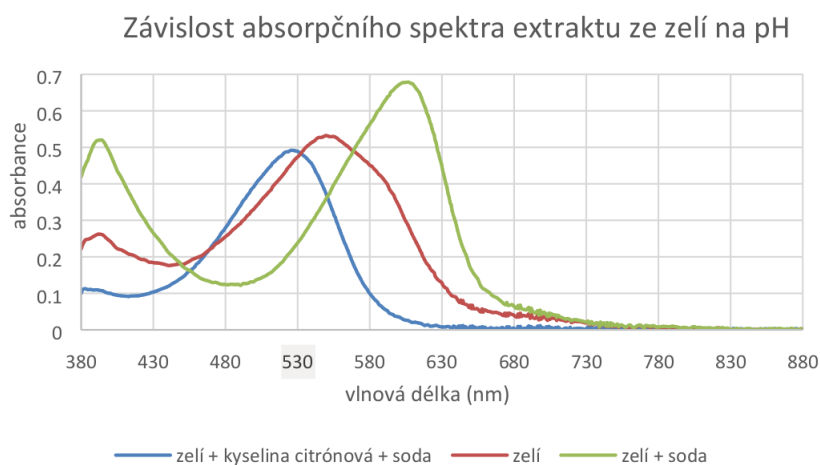


**Obr. 6:** Extrakt z červeného zelí ve vodě voda + jedlá soda (nahore); efekt přidání vodného roztoku kyseliny citronové (dole).

#### Komentář:

Takto (mimo laboratoř) připravená limonáda je zdravotně nezávadná a je možno ji ochutnat. Pro lepší chuť je možné do roztoků přidat malé množství cukru. Extraktem z antokyanů lze barvit i jiné potraviny, zajímavého efektu například dosáhneme obarvením jogurtu nebo kysané smetany.

Pro zajímavost byly změřeny i absorpční spektra některých roztoků.

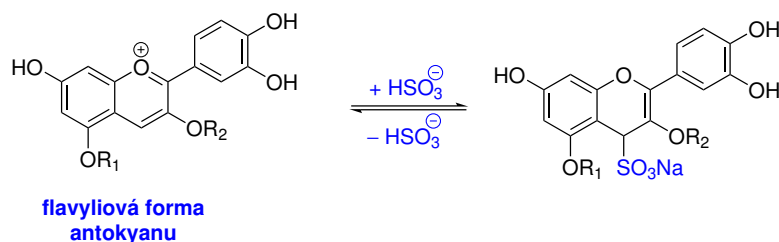


**Obr. 9:** Závislost absorpčního spektra extraktu ze zelí na pH.

### Tajný inkoust z červeného zelí – indikátor $Al^{3+}$

Antokyaniny obsažené v rostlinném extraktu mohou být odbarveny působením vodného roztoku hydrogensířičitanu sodného. Podstatou děje je adice hydrogensířičitanového anionu na

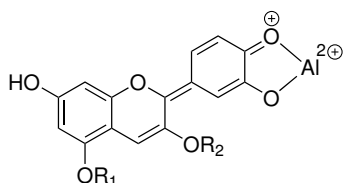
antokyan ve formě flavyliové soli. Při adici dochází k zániku části konjugovaného systému v molekule, což vede k posunu absorpčního maxima do UV oblasti.



R<sub>1</sub> = H nebo cukr vázaný glykosidovou vazbou  
R<sub>2</sub> = H nebo cukr vázaný glykosidovou vazbou

Působením kyseliny na tento adukt může dojít ke zpětné eliminaci hydrogensířičitanového anionu a obnovení barevné formy antokyanu. Těchto reakcí můžeme využít jako podstaty tajného inkoustu. Tajný vzkaz může být napsán roztokem odbarveného antokyanu. Nápis je následně vyvolán 10% vodným roztokem kyseliny citronové.

Jinou metodou vizualizace skrytého nápisu je reakce a hlinitými kationty. Při této reakci dochází rovněž k eliminaci hydrogensířičitanu, dochází však také ke vzniku chelátu Al<sup>3+</sup> interakcí kationu s dvěma -OH skupinami v *ortho*-pozici na benzenovém jádře. Tento komplex má modro-fialovou barvu.



My uvedené reakce využijeme rovněž k výrobě papírku indikujícího přítomnost hlinitých kationtů, například v kosmetice. Řada lidí nechce používat kosmetiku obsahující soli hliníku. Takto připravený indikátorový papírek je může ujistit, že kosmetika hlinité soli skutečně neobsahuje.

V rámci úlohy bude provedena extrakce antokyanů z červeného zelí. Experiment vyžaduje poměrně hodně koncentrovaný roztok antokyanů.

### Chemikálie:

Červené zelí, disiřičitan sodný, kyselina citronová, dodekahydrát síranu draselno-hlinitého (kamenec).

### Postup:

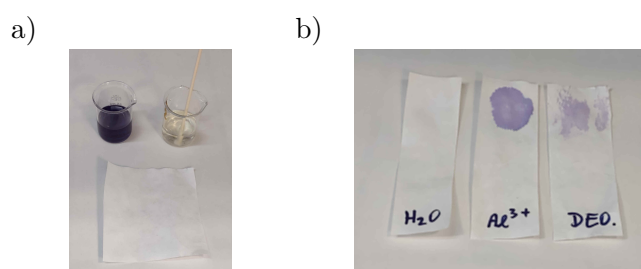
- Připravte roztok kyseliny citronové rozpuštěním **10 g** kyseliny citronové ve **100 cm<sup>3</sup>** demineralizované vody.
- Připravte vodný roztok hydrogensířičitanu sodného rozpuštěním **1 g** disiřičitanu sodného v **10 cm<sup>3</sup>** demineralizované vody.
- Připravte roztok hlinité soli rozpuštěním **10 g** dodekahydrátu síranu draselno-hlinitého ve **100 cm<sup>3</sup>** demineralizované vody.



- Listy červeného zelí nařežte/natrhejte na menší kousky a spařte je horkou vodou ve vhodné nádobě. Nechte extrahovat minimálně **1 hodinu**. Následně intenzivně modro-fialově zbarvený extrakt dekantujte/odfiltrujte.
- K extrakci lze rovněž použít vodný roztok saponátu na mytí nádobí. Extrakce ale vyžaduje **4 hodiny**.
- Odměřte do kádinky **10 cm<sup>3</sup>** extraktu antokyanu. Po kapkách k extraktu přidávejte roztok hydrogensířičitanu sodného, až dojde k odbarvení roztoku, případně roztok získá slámovou barvu.
- Pomocí smotku vaty nebo štětce naneste na filtrační papír odbarvený roztok a papír vysušte.
- Nápis je možné vyvolat potřením papíru 10% vodným roztokem kyseliny citronové.
- Nápis lze vyvolat rovněž potřením papíru vodným roztokem hlinité soli. Plného vyvinutí nápisu je dosaženo za několik minut.
- Odbarveným roztokem můžete impregnovat větší kus filtračního papíru (je vhodné jej impregnovat vícekrát), filtrační papír pak rozstříhat a použít jako indikátorové papírky na hlinité kationty. Na připravený indikátorový papírek kápněte čistou vodu (kontrolní vzorek), vodný roztok hlinité soli a kousek deodorantu nebo vzorek jiné kosmetiky. Barevná změna nastane do několika minut.



**Obr. 10:** (a) Vodný extrakt z červeného zelí (levá kádinka) odbarvený roztokem disiřičitanu sodného (pravá kádinka); (b) suchý nápis odbarveným extraktem na filtračním papíře; (c) vizualizace nápisů 10% roztokem kyseliny citronové (vlevo) a 10% roztokem síranu draselnohlinitého.



**Obr. 11:** (a) Vodný extrakt z červeného zelí odbarvený roztokem disiřičitanu sodného a filtrační papír impregnovaný tímto roztokem; (b) indikátorové papírky s naneseným vzorkem vody, vodného roztoku hlinité soli a deodorantu obsahujícího  $\text{Al}^{3+}$ .

## Poznámka

Experiment lze dobře provádět s filtračním papírem. Běžný psací papír nebo papír do tiskáren nemá dostatečnou savost, obsahuje také aditiva, které s experimentem interferují.

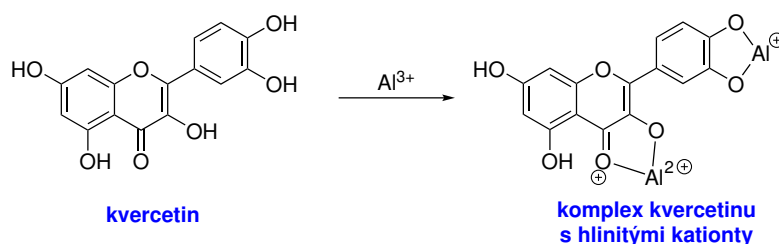
Disiřičitan sodný (nebo draselný) je relativně levná chemikálie, která se používá k síření a dezinfekci. Látku lze koupit např. ve specializovaných drogeriích nebo obchodech s potřebami pro vinaře.

## Doplňující otázky:

1. V úloze připravujeme roztok z pevného disiřičitanu sodného, v roztoku ale s antokyany reaguje hydrogensiřičitan sodný. Vysvětlete tuto zdánlivou nesrovnalost.

## Výroba papírků pro indikaci $\text{Al}^{3+}$ z cibulových slupek

Slupky z cibule nejsou dobré jen k barvení vajíček. Můžete se s jejich pomocí také přesvědčit, zda je přítomen hliník (nebo zda se už odstěhoval do Humpolce). Stačí si připravit odvar z cibulových slupek a ponořit do něj kus filtračního papíru. Cibulové slupky obsahují látku kvercetin ze skupiny takzvaných flavonoidů. Kvercetin tvoří komplexní sloučeninu s hlinítkými ionty, která silně fluoreskuje. Prostě svítí, když na ni posvítíte ultrafialovým zářením nebo fialovým světlem.



Zdrojem hlinítkých kationtů nemusí být pouze hlinítké soli, ale i kosmetika, do které se hlinítké soli přidávají, protože omezují pocení.

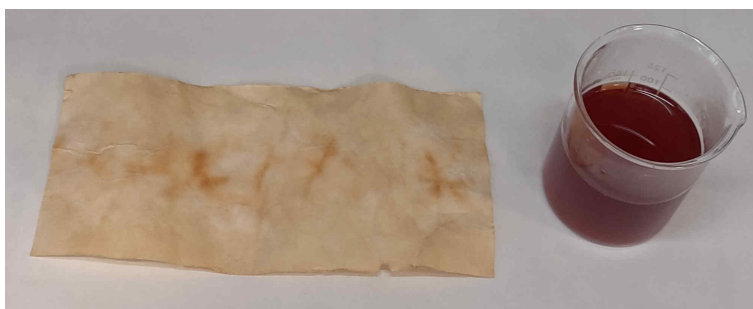
## Chemikálie:

Slupky cibule, ve vodě rozpustné hlinítké soli, deodoranty (např. Nivea Men Cool Kick), tyčinka na zastavení krvácení při holení (tvořená síranem hlinítkým).

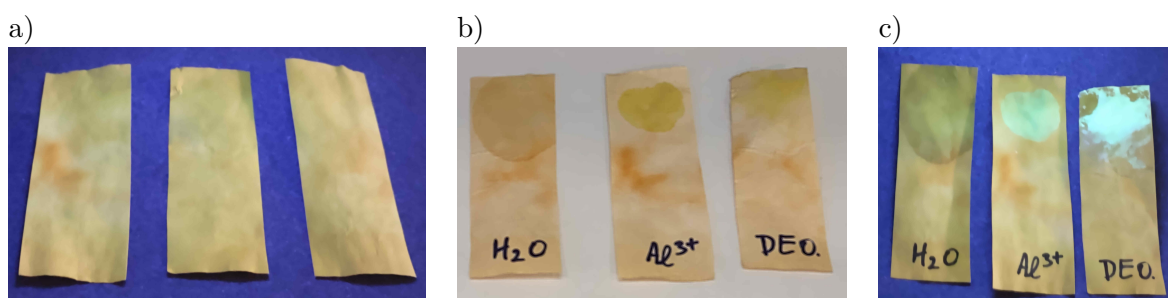
## Postup:

- Horkou vodou spařte v kádince cibulové slupky a koncentrovaný extrakt po 30 minutách odfiltrujte nebo dekantujte.
- Ponořte do odvaru filtrační papír. Zhruba po 5 minutách papír vyndejte a nechte uschnout. Opakujte postup celkem třikrát.
- Papír vysušte. Impregnovaný papír můžete rozstříhat na menší kousky a připravit si tak jakési indikátorové papírky.
- Na připravený indikátorový papírek kápněte čistou vodu (kontrolní vzorek), vodný roztok hlinítké soli a kousek deodorantu nebo vzorek jiné kosmetiky. Někdy je potřeba papírek s deodorantem slabě navlhčit, aby proběhla reakce.

- Pozorujte indikátorové papírky pod UV lampou při 366 nm.



**Obr. 12:** Vodný extrakt ze slupek cibule a kus filtračního papíru impregnovaný tímto extraktem.



**Obr. 13:** (a) Indikační papírky impregnované vodným extraktem ze slupek cibule pod UV lampou ( $\lambda = 366 \text{ nm}$ ); (b) indikátorové papírky s naneseným vzorkem vody, vodného roztoku hlinité soli a deodorantu obsahujícího  $\text{Al}^{3+}$  ve viditelném světle; (c) papírky se stejnými vzorky pod UV lampou ( $\lambda = 366 \text{ nm}$ ).

## Adsorpce barviv z červeného vína

Červené víno obsahuje relativně velké množství barviv (zejména tzv. antokyany). Barviva obsažená v červeném víně jsou relativně velké molekuly, které se mohou adsorbovat na látku s velkým povrchem.

Aktivní uhlí je modifikace uhlíku, která má velký povrch. Proto je aktivní uhlí schopno na svůj povrch „vázat“ (tzv. adsorbovat) některé látky – v našem případě třeba barviva z červeného vína.

### Chemikálie a materiál:

Aktivní uhlí a červené víno.

### Postup:

- Do kádinky o objemu 400 ml nalijte **100 ml** červeného vína nevalné kvality a přidejte varné kamínky.
- Kádinku s vínem zahřejte. Za horka (ale ne za varu) přidejte asi 2 lžičky aktivního uhlí.
- Následně zahřejte k varu a vařte ještě asi **5 minut** a pak nechte ochladit (nejlépe v misce se studenou vodou).

- Víno dekantujte, abyste jej oddělili od většiny aktivního uhlí.
- Sestavte si filtrační aparaturu a víno se zbytky aktivního uhlí přefiltrujte přes hladký nebo skládaný filtr. Pozorujte barvu filtrátu.
- Filtrát vylijte do odpadu a v žádném případě jej nekonzumujte.

### **Komentář:**

Aktivní uhlí je podstatnou složkou léků, které se používají při zažívacích problémech („živočišné uhlí“). Proto by se tyto léky nabízely jako alternativní zdroj aktivního uhlí. Ukazuje se však, že léky jsou poměrně drahé a obsažené částice uhlíku jsou velmi malé a mají tendenci procházet přes filtrační papír.

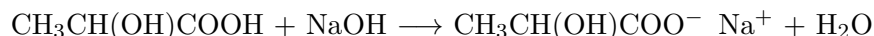
### **Doplňující otázky:**

1. Antokyany jsou barviva, která jsou obsažena i v jiných potravinách. Jmenujte alespoň tři další příklady.

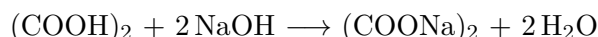
## Stanovení obsahu kyseliny mléčné v mléce a mléčných výrobcích

Jak již bylo zmíněno v úvodu, mléko obsahuje přirozeně kyselinu mléčnou ( $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ ). Její obsah by se v čerstvém nezkaženém mléce měl pohybovat do 0,2 % hm. V kysaných mléčných výrobcích se její obsah pohybuje od 0,5 % do 1,0 % hm.

Kontrolu obsahu kyseliny mléčné v mléce a kysaných mléčných výrobcích budeme provádět pomocí acidobazické titrace. Kyselina mléčná (jako ostatně každá kyselina) může reagovat se zásadami a podléhat tak neutralizaci za vzniku soli kyseliny mléčné (tzv. laktát) a vody:



Ke stanovení bude použit 0,1M-NaOH, k indikaci bodu ekvivalence lze použít fenolftalein. Odměrný roztok NaOH lze standardizovat pomocí roztoku dihydrátu kyseliny šťavelové o známé koncentraci. Kyselina šťavelová reaguje s hydroxidem sodným podle rovnice:



K indikaci bodu ekvivalence lze použít indikátor methylovanž. Těsně před dosažením bodu ekvivalence je do roztoku přidán 20% roztok chloridu vápenatého a následně je roztok kyseliny dotitrován.

### Chemikálie a materiál:

NaOH, 1% roztok fenolftaleinu v ethanolu, dihydrát kyseliny šťavelové (p.a.), 20% vodný roztok  $\text{CaCl}_2$ , 0,1% roztok methylovanže v ethanolu, mléko a kysané mléčné výrobky.

### Příprava odměrného roztoku 0,1M-NaOH:

- Na předvážkách do kádinky navažte vypočítané množství NaOH.
- Pevný NaOH se rozpustí v destilované vodě a roztok poté převedte do odměrné baňky o příslušném objemu. Roztok v odměrné baňce doplňte po rysku destilovanou vodou. Roztok důkladně promíchejte.

$$M(\text{NaOH}) = 40,00 \text{ g mol}^{-1}$$

### Standardizace odměrného roztoku 0,1M-NaOH:

- Na analytických vahách navažte přesně přibližně 1,26 g dihydrátu kyseliny šťavelové o čistotě p.a. a naváženou látku kvantitativně převedte do odměrné baňky o objemu 100 ml.
- Kyselinu rozpustíte v menším objemu destilované vody a následně vzniklý roztok doplňte vodou po rysku. Roztok důkladně promíchejte.
- Do titrační baňky napipetujte 10,00 ml připraveného roztoku kyseliny šťavelové, přidejte 50 ml destilované vody a tři kapky roztoku methylovanže.
- Následně roztok titrujte 0,1M-NaOH. Roztok hydroxidu přidávejte až do okamžiku, kdy se barva změní z červené na oranžově-žlutou. V tomto okamžiku přidejte 10 ml 20% roztoku  $\text{CaCl}_2$ , což vyvolá opětovné zčervenání směsi. Kyselinu v roztoku dotitrujte roztokem NaOH do vzniku oranžově-žlutého zbarvení.
- Standardizaci opakujte nejméně 2×. Z průměrné spotřeby vypočítejte přesnou koncentraci odměrného roztoku NaOH.

$$M(\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,07 \text{ g mol}^{-1}$$

### Stanovení koncentrace kyseliny mléčné v mléce a kysaných mléčných výrobcích:

- Do titrační baňky si odpipetujte 20,00 ml vybraného mléka a zřeďte jej cca 80 ml destilované vody. Následně do titrační baňky přidejte 3–5 kapek 1% ethanolickeho roztoku fenolftaleinu. Titraci proveďte nejméně 3×.
- Pro stanovení obsahu kyseliny mléčné v kysaném mléčném výrobku si odvažte na předvážkách přibližně 5 g kysaného výrobku přímo do titrační baňky. Obsah titrační baňky zřeďte cca 100 ml vody a dále postupujte jako u stanovení kyseliny mléčné v mléce. U kysaného mléčného výrobku postačí, když provedete jednu titraci.
- Všechny odpady můžete likvidovat do výlevky.

$$M(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = 90,08 \text{ g mol}^{-1}$$

### Doplňující otázky:

1. Zapište chemickou rovnicí reakci kyseliny štavelové s chloridem vápenatým. Pokuste se následně vysvětlit, proč je  $\text{CaCl}_2$  do směsi před dosažením ekvivalence přidáván.
2. Vypočítejte, jaké bylo látkové množství kyseliny mléčné v titrační baňce v odpipetovaných 20 ml mléka.
3. Vypočítejte hmotnostní zlomek kyseliny mléčné v mléce. Hustota polotučného mléka činí  $1,030 \text{ g cm}^{-3}$ .
4. Vypočítejte hmotnostní zlomek kyseliny mléčné v kysaném mléčném výrobku.
5. Proč kysané mléčné výrobky vážíme a nepoužíváme k jejich odměření pipetu?

## Plamenové zkoušky

Plamenové zkoušky slouží k důkazu přítomnosti některých kovů. Prakticky se nejčastěji provádějí tak, že se roztok látky vnese na platinovém drátku do plamene, kde vysokou teplotou dojde k atomizaci a emisi atomů kovu. Barva (vlnová délka) emitovaného světla je charakteristická pro daný kov. Typicky se plamenovými zkouškami prokazují alkalické kovy a kovy alkalických zemin. Plamen však barví i řada dalších kovů.

Tradiční provedení s očkem platinového drátu je nepraktické a nehodí se příliš pro demonstrační provedení ve třídě. Existuje praktičtější způsob vnesení velkého množství roztoku látky do plamene, jehož podstatou je rozptýlení relativně velkého objemu roztoku do plamene pomocí běžného rozprašovače kapalin. Pro demonstraci plamenových zkoušek alkalických kovů a kovů alkalických zemin lze využít roztoku solí v methanolu, který sám hoří málo svítivým plamenem.

### Plamenové zkoušky s rozprašovačem

#### Chemikálie a materiál:

Chloridy kovů alkalických zemin a alkalických kovů, methanol.

#### Pomůcky:

Rozprašovač kapalin, kahan.

### Postup:

- Připravte nasycené roztoky zvolených solí v methanolu.
- Připravenými roztoky naplňte zásobní nádoby rozprašovačů. Při demonstraci rozprašujte roztok do plamene. **Pozor, dbejte na to, aby se většina roztoku dostala do plamene a methanol shořel! Pokud se do plamene netrefíte, může dojít ke kumulaci methanolu na pracovní desce a jeho následnému vznícení.**

### Komentář:

Běžně lze zakoupit rozprašovače různých druhů. Jako nejodolnější se ukazují rozprašovače z úklidových dezinfekčních prostředků na bázi chlorananu sodného (Savo).

### Plamenové zkoušky s hořícím alkoholem

#### Chemikálie a materiál:

Lithná, sodná, vápenatá, draselná, strontnatá, cesná, rubidná sůl, methanol, ethanol, vata.

#### Pomůcky:

Kádinka, porcelánová miska, chemická lžička, skleněná tyčinka, odměrný válec, zápalky.

### Postup:

- V kádince částečně rozpustíte jednu malou lžičku NaCl v malém množství (cca 1 cm<sup>3</sup>) vody (popřípadě přímo v používaném alkoholu, v tomto případě ovšem rozpouštění trvá déle).
- K roztoku přilijte 5 ml CH<sub>3</sub>OH (alternativně CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH).
- Do porcelánové misky dejte malý smotek vaty.
- Roztok v kádince promíchejte a rychle ho přelijte na vatu v porcelánové misce.
- Pomocí zápalky roztok zapalte a pozorujte.
- Stejný postup opakujte pro ostatní soli.

### Komentář:

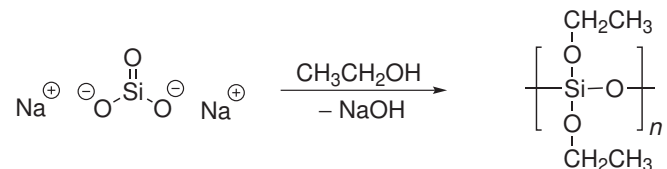
Je vhodné si připravit větší počet misek vedle sebe, následně vaty nasáklé methanolovými roztoky daných solí zapálit ve stejném okamžiku.

### Doplňující otázky:

1. Z praktického života známe ještě jedno provedení plamenových zkoušek, které je dokonce starší než sama chemie. Víte, při jaké aktivitě jsme rovněž svědky plamenových zkoušek?

## Hopsací kulička z vodního skla

Vodný roztok křemičitanu sodného (vodní sklo) reaguje s ethanolem za vzniku zesíťovaného polymeru, který má vlastnosti gumy. Při reakci dochází k náhradě atomů kyslíku ethoxy skupinami alkoholu a zesíťování řetězců.



### Pomůcky:

Odměrné válce (100 ml a 10 ml), kádinka (150 ml) nebo plastový kelímek, skleněná tyčinka, latexové rukavice, papírové ručníky.

### Chemikálie:

Vodný roztok křemičitanu sodného (40 %) – vodní sklo, ethanol.

### Postup:

1. Do kádinky odměřte 20 ml roztoku vodního skla, přidejte k němu 5 ml ethanolu za intenzivního míchání. Pokud směs úplně neztuhne, přidejte dalších 5 ml ethanolu.
2. Až směs ztuhne, hmotu z kádinky vyjměte (chraňte si ruce rukavicemi) a vymodelujte ji do podoby kuličky. V případě potřeby je možné kuličku navlhčit několika kapkami vody ze stříčky. Hmotu příliš nemačkejte, aby nedošlo k jejímu rozdrobení. Nakonec použijte papírové ručníky nebo ubrousky k vysušení kuličky.
3. Pusťte kuličku na podlahu a pozorujte, jak se odráží.



**Obr. 14:** Hopsací kulička z vodního skla obarvená potravinářským barvivem.

### Poznámka:

Vodní sklo je silně alkalické, podobně vzniklá kulička obsahuje alkalický reagující roztok. Proto není vhodné se kuličky dotýkat nechráněnou rukou. Hopsací kuličku lze zabalit například do prstu ustřiženého z jednorázové latexové rukavice.

Kuličku je vhodné uchovávat v mikrotenovém sáčku. Pokud ji necháme vyschnout, ztratí svou pružnost a může se rozdrobit.



Vodní sklo lze před přidáním ethanolu obarvit potravinářským barvivem. Vzniklá kulička pak bude také barevná.

Vodní sklo a hmota po vysrážení zanechává na laboratorním skle a pracovní desce obtížně odstranitelné skvrny a cákance. Proto je vhodné experiment provádět v plastovém kelímku, který lze následně vyhodit, a chránit pracovní plochu krycí folií.

## Důkaz přítomnosti rostlinných proteas

Proteasy jsou enzymy, které štěpí bílkoviny. Těmito enzymy disponují jak živočichové, tak rostliny. Živočichové je využívají jen pro trávení bílkovin a získávání potřebných aminokyselin. Masožravé rostliny je využívají pro získání cenného dusíku, kterého je v písčitých půdách nebo kyselých bažinách nedostatek, ale také jako obranu proti hmyzu. Proteasy se nacházejí například v plodech kiwi, plodech a stonku ananasu, v oddencích zázvoru, listech brambor, papáji (zvláště jejím latexu) a latexu fíků. Tyto proteasy slouží pravděpodobně jako obrana proti býložravému hmyzu. Naopak chybějí v jablkách, citronech nebo pomerančích. Mezi nejčastěji prakticky používané rostlinné proteasy patří bromelain, papain a fikain.

### Chemikálie a materiál:

Ovoce a zelenina obsahující proteasy, potravina bohatá na proteiny (želatinové bonbony, šunka s vysokým obsahem masa, vařené vejce).

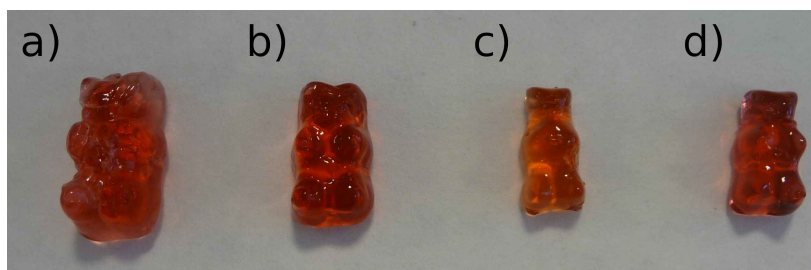
### Postup:

- Odšťavněte vybrané ovoce. Kiwi a citrusové plody můžete vymačkat pomocí lisu na citrusové plody a vzniklou šťávu přefiltrovat (propasírovat) přes kuchyňské sítko. Jemně nastrouhaný zázvor vymačkejte.
- Vzorky potravin bohatých na proteiny ponořte do ovocné šťávy ve zkumavce nebo vhodné lahvičce. Jeden vzorek ponořte také do čisté vody pro kontrolu.
- Vzorky po 20, 40 a 60 minutách vyjměte a pozorujte nastalé změny.

### Komentář:

V závislosti na koncentraci enzymu ve šťávě může být efekt na želatinové bonbony patrný už během několika desítek minut. Hydrolýza želatinových bonbonů (medvídků) se projeví jejich zmenšením a ztrátou tvaru, jak ukazuje obrázek 1. V čisté vodě želatinový bonbon pouze bobtná. Úplné rozpuštění medvídků si může vyžádat až 12 hodin. Efekt proteas na šunku není tak dobře patrný jako v případě želatinových bonbonů. Změny v textuře se projeví po zásahu tyčinkou do vzorku. Vzorky, v nichž účinkovaly proteasy, neměly po rozmíchání stálý identifikovatelný tvar – v podstatě vznikala trávenina, kaše.

Rychlost enzymatické reakce závisí na teplotě. To lze demonstrovat provedením experimentu v lednici, kdy medvídky budou ubývat pomaleji než za pokojové teploty. Není vhodné pokus provádět při teplotě vyšší, než je pokojová teplota, protože dochází k rychlému rozpuštění samotné želatiny v čisté vodě.



**Obr. 15:** Hydrolýza želatinového bonbonu působením různých ovocných šťáv po dobu 160 minut – a) voda (kontrola); b) citronová šťáva; c) šťáva z kiwi a d) šťáva ze zázvoru.

### Doplňující otázky:

1. Může obsahovat ananasový džus aktivní proteasu (bromelain)? Pokuste se svou odpověď krátce zdůvodnit.
2. Co je zdrojem bílkovin obsažených v želatině?
3. Želatina je zvláště bohatá na některé aminokyseliny. O které aminokyseliny se jedná?

## Kapalina nebo pevná látka? (nenewtonovská kapalina)

Vedle newtonovských kapalin (látky, které se deformují působením tlaku průběžně, nezávisle na jeho velikosti) existují i kapaliny reologicky složitější, které se Newtonovým zákonem neřídí. Označují se proto jako nenewtonovské kapaliny a jsou to např. roztoky a taveniny polymerů, suspenze, různé pasty apod. Platí pro ně analogicky s Newtonovým zákonem rovnice

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

kde  $\tau$  je tečné napětí,  $\eta$  je ovšem součinitel viskozity, který není látkovou konstantou, ale závisí na rychlosti deformace nebo tečném napětí, a  $dv/dy$  je gradient (růst) rychlosti ve směru kolmém na rychlost.

K charakterizaci toku nenewtonovských kapalin je proto nutno znát průběh závislosti  $\eta$  na gradientu rychlosti v širším intervalu.

Rozdělení nenewtonovských kapalin:

- Zobecněné nenewtonovské tekutiny:
  - Binghamské tekutiny – tečou až od určitého napětí (suspenze křídly či vápna).
  - Pseudoplastické tekutiny – viskozita klesá s rychlostí deformace (kečup).
  - Dilatantní tekutiny – viskozita roste s rychlostí deformace.
- Viskoelastické tekutiny – tečou, ale zároveň si do určité míry „pamatují“ tvar a po odstranění napětí se částečně vrátí do původního tvaru:
- S časovou závislostí – vlastnosti tekutiny jsou závislé na době působení napětí.
  - Tixotropní tekutiny – s dobou působení napětí viskozita klesá (nátěrové hmoty, laky).
  - Reopexní tekutiny – s dobou působení napětí viskozita roste.

### Pomůcky:

Plastová miska.

### Chemikálie:

Škrob (250 g), voda.

### Postup:

- Do misky nasypejte škrob a za míchání rukou přidávejte po malých částech vodu tak dlouho, až vznikne hustá kapalina. Pokud jste přidali příliš mnoho vody, přidejte menší množství škrobu.
- Ponořte do kapaliny prst a prstem vodorovně pohybujte, nejdříve pomalu, pak rychle. Co pozorujete?
- Naberte část kapaliny do rukou a zmačkejte ji do podoby kuličky. Pak nechte kuličku stát na dlani. Co se s kuličkou stalo?
- Zkuste do kapaliny v misce udeřit sevřenou pěstí a pak zkuste pěstí do kapaliny jen lehce zatlačit. Co pozorujete?

### Komentář:

Kapalinu je možné obarvit potravinářským barvivem. Také je možné přidat tonic s chininen, díky čemuž bude kapalina fluoreskovat v měkkém UV světle.

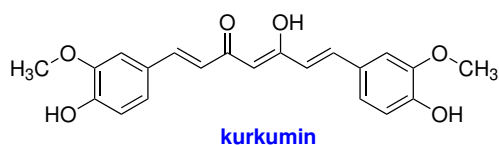
Zvláště děti si z experimentování se suspenzí škrobu ve vodě mohou odnést bílé škrobové skvrny na oblečení. Tyto skvrny však mizí s prvním vypráním oblečení.

### Doplňující otázky:

1. Pokuste se vystihnout, jaká vlastnost kapaliny vysvětlí pozorované chování. V čem se vámi připravená kapalina liší od jiných kapalin, jako je například voda?
2. Na základě uvedeného dělení neneutronovských kapalin určete, do které skupiny patří suspenze škrobu ve vodě.

## Tajné písmo na bázi jedlé sody a kurkuminu

Kurkuma je koření, které obsahuje barvivo kurkumin. Ten má za normálních podmínek žluto-oranžovou barvu. V zásaditém prostředí kurkumin mění barvu do hnědo-červené. Proto místa, kde byl nanesen roztok jedlé sody mají jinou barvu než okolí. Kurkuma se používá jako koření buď samostatně, nebo jako součást koření kari.



### Pomůcky:

Papíry, kelímek a vatové tyčinky (případně vata namotaná na konec špejle).

### Chemikálie a materiál:

Přibližně 5% roztok jedlé sody ( $\text{NaHCO}_3$ ) ve vodě, mletá kurkuma a ethanol.

### Postup:

- Smíchejte velkou lžičku mleté kurkumy s 50–100 ml ethanolu a nechte za občasného míchání extrahovat asi 30 minut. Výluh zfiltrujte nebo dekantujte.
- Do kelímků si připravte roztok jedlé sody.
- Namočte vatovou tyčinku v tajném inkoustu a napište na papír vzkaz.
- Počkejte až písmo na papíru zaschne a zmizí. Vyschnutí urychlíte například fénem.
- Pomocí vatové tyčinky natřete papír extraktem z kurkumy.
- Nechte papír zaschnout a počkejte jaký vzkaz odhalí.



**Obr. 16:** Nápis provedený roztokem jedlé sody na filtračním papíru (vlevo nahoře) a kreslícím kartonu (vlevo dole) po vizualizaci pomocí extraktu z kurkumy (vpravo).

### Komentář:

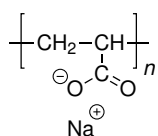
Kurkumin lze z mleté kurkumy extrahovat i jinými netoxickými těkavými alkoholy, které jsou běžně k dostání, jako je například isopropylalkohol. V případě nouze lze použít i směs ethanolu s vodou (destilát), nedojde však k vymytí tak velkého množství barviva a vizualizace je následně méně efektivní.

### Doplňující otázky:

1. Existuje řada návodů na tajný inkoust. Uveďte alespoň dva další příklady a pokuste se stručně vysvětlit, na jakém principu vizualizace funguje.
2. Kterou z následujících solí by bylo možné také vizualizovat pomocí kurkuminu? Svou odpověď stručně zdůvodněte.  
 $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaCl}$  a  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
3. Na obrázku je uvedena enol-forma kurkuminu. Pokuste se napsat vzorec jeho keto-formy.
4. Příčinou změny barvy kurkuminu je jeho deprotonace bazickým hydrogenuhličitanem. Pokuste se identifikovat v molekule kurkuminu atom vodíku, který se působením báze nejsnadněji odštěpí jako proton (je nejkyselejší).

## Experimenty se superabsorbenty

Polyakrylát patří mezi tzv. superabsorbenty, což jsou zesíťované polymery, které jsou schopny nasávat (sorbovat) velké množství kapaliny a bobtnat. Společným znakem těchto látek je přítomnost mnoha nabitých skupin a volných iontů ve vnitřní struktuře. Polární molekuly vody jsou proto vtahovány dovnitř polymeru, kde se váží silnými vazbami k přítomným iontům. Současně s tím dochází ke vzdalování řetězců polymeru od sebe, což se makroskopicky projevuje bobtnáním zrněk. Některé superabsorbenty jsou schopny pojmout množství čisté vody, které odpovídá 300 násobku hmotnosti polymeru. Sorpční schopnost superabsorbentů však významně klesá s rostoucí koncentrací solí rozpuštěných ve vodě. Ionty v roztoku oslabují přitažlivé síly mezi ionty (a polárními molekulami).



polyakrylát sodný

Polyakrylát sodný podobně jako další superabsorbenty našel uplatnění například v dětských plenách nebo hygienických vložkách pro ženy. Velkou nevýhodou superabsorbentů je, že nejsou biologicky odbouratelné a lze je velice obtížně recyklovat.

### Mizející voda

#### Pomůcky:

Několik (4–6 ks) plastových kelímků od jogurtu nebo kávy, lžička.

#### Chemikálie a materiál:

Polyakrylát sodný (instantní sníh).

#### Postup:

- Do jednoho kelímku před provedením pokusu nasypejte lžičku instantního sněhu.
- Následně do všech kelímků přidejte 20–30 ml vody a postupně na stole slévejte dohromady za současného zaměňování pořadí kelímků, ale vždy tak, abyste jednou za cca 10 sekund do kelímku s polyakrylátem sodným nalili další vodu.
- Po nalití vody do kelímku s polyakrylátem s ním vždy lehce zamícháme, aby se obsah promíchal a tuhnul. K překvapení publika po slití veškeré vody do kelímku s polyakrylátem složíme kelímky na sebe a otočíme vzhůru nohama. Voda nevyteče.

### Vliv solí na absorpční kapacitu superabsorbentu

Iontovou sílu lidské moči nebo krve lze modelovat přibližně 2% vodným roztokem NaCl. Roztok můžeme také obarvit pomocí žlutého a oranžového potravinářského barviva (moč) nebo červeného potravinářského barviva (krev).

#### Pomůcky:

Petriho miska, kapátka nebo pasturovy pipety.

### Chemikálie a materiál:

Polyakrylát sodný (instantní sníh), NaCl, potravinářská barviva (žluté, oranžové a červené), destilovaná/demineralizovaná voda.

### Postup:

- Do Petriho misky dejte dvě stejně velké hromádky polyakrylátu sodného (asi velikosti slunečnicového semínka)
- Do jedné kádinky si nalijte destilovanou/demineralizovanou vodu (případně kohoutkovou vodu), do druhé si připravte cca 2% vodný roztok NaCl. Roztok můžete obarvit potravinářským barvivem.
- K jednomu ze vzorků sorbentu přidávejte postupně po kapkách pipetou čistou vodu, k druhému pak připravený roztok soli. K oběma vzorkům přidávejte kapalinu po stejných dávkách, dokud nezpozorujete, že polymer už další kapalinu nenasává. Poznamenejte si, kolik kapek vody a roztoku soli vzorky přijaly.

### Komentář:

Polyakrylát sodný lze zakoupit jako tzv. instantní sníh, který se používá k dekorativním účelům, nebo jej lze izolovat z dětských plen. V plenkách Pampers jsou jeho granule v nejspodnější vrstvě.

Polyakrylát sodný nasáklý čistou vodou můžeme nechat vyschnout na volné ploše a opětovně použít.

## Hasicí přístroj

V této úloze si sami zkonstruujete jednoduchý hasicí přístroj, jehož hnací silou bude reakce kyseliny octové (octa) s jedlou sodou (hydrogenuhličitanem sodným).

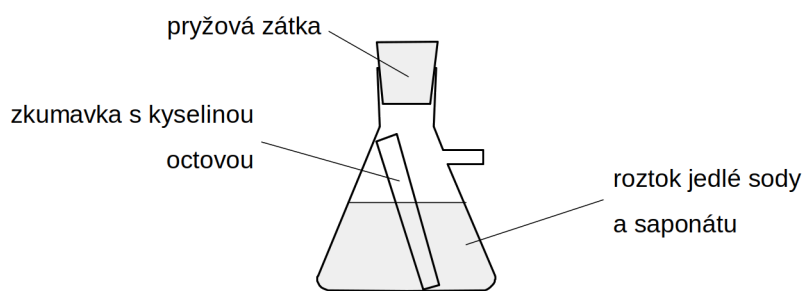
### Chemikálie:

Hydrogenuhličitan sodný (jedlá soda), 50% kyselina octová nebo nasycený vodný roztok kyseliny citronové, saponát na mytí nádobí.

### Postup:

- Do odsávací baňky navažte **20 g** jedlé sody (hydrogenuhličitanu sodného) a k soli přidejte **200 ml** vody.
- Ke směsi přidejte dále několik kapek saponátu a obsah baňky zamíchejte, aby došlo k rozpuštění látek ve vodě.
- Do zkumavky nalijte zředěný roztok kyseliny octové (nebo nasycený roztok kyseliny citronové), hladina by měla být asi 1 cm pod okrajem zkumavky
- Zkumavku pomocí pinzety opatrně vložte do odsávací baňky a opřete ji o stěnu. Dávejte pozor, aby se obsah zkumavky nevytil do roztoku v baňce.
- Odsávací baňku zazátkujte pryžovým špuntem.
- Uchopte baňku do obou rukou, jednou rukou ji držte za hrdlo se špuntem.

- Nasměrujte vývod z baňky do výlevky a baňku rychle otočte dnem vzhůru a protřepejte.



**Doplňující otázka:**

1. Při reakci kyseliny octové s jedlou sodou se prudce uvolňuje plyn, který následně vytlačuje obsah baňky ven a způsobuje pění směsi. Víte, o jaký plyn se jedná?



## Přeměna mědi ve stříbro a zlato

### Pomůcky:

Lžička na chemikálie, kádinka 150 ml, tyčinka, kleště nebo pinzeta, kahan, zápalky, vodní lázeň.

### Chemikálie a materiál:

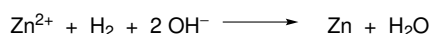
Měděná mince (10 Kč) nebo měděný plíšek, zinek práškový, vodný 20% roztok NaOH, kuchyňská sůl, kyselina octová 20% až 8%, saponát nebo ethanol.

### Postup:

- Ponořte měděnou minci do suspenze NaCl v kyselině octové a směs promíchejte. Následně opláchněte minci vodou se saponátem nebo ethanolem a poté důkladně vodou.
- Mezitím si připravte do kádinky asi 50 ml 20% roztoku NaOH, do kterého nasypete 1–2 lžičky práškového zinku. Směs zahřejte na vodní lázni.
- Jakmile voda v lázni téměř vře, ponořte do kádinky se zinkem a roztokem NaOH očištěnou minci a zahřívejte asi 2 minuty do doby, než je mince zřetelně potažena zinkem.
- Pozinkovanou minci vyjměte z kádinky a opláchněte ve studenou vodu. Můžete demonstrovat „stříbrnou“ minci.
- Pozinkovanou minci lehce zahřejeme nad kahanem, dokud nedojde ke zbarvení dozlata.

### Komentář:

Zinek se rozpouští v hydroxidu sodném za vzniku komplexu  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ , společně s tím se uvolňuje vodík. Pokud je v roztoku přítomná měď, začne vylučovat na jejím povrchu vylučovat zinek (dojde k tzv. pozinkování). Věrohodné teoretické vysvětlení tohoto děje se zatím nepodařilo najít. Tím měď získá stříbrnou barvu. Při zahřívání v plameni zinek pronikne do mědi a vytvoří s ní slitinu.



a)



b)



c)



d)



**Obr. 17:** Původní desetikoruna (a), desetikoruna po vyčištění (b), desetikoruna pokrytá vrstvou zinku (c) a desetikoruna pokrytá tenkou vrstvou slitiny mědi a zinku (d).

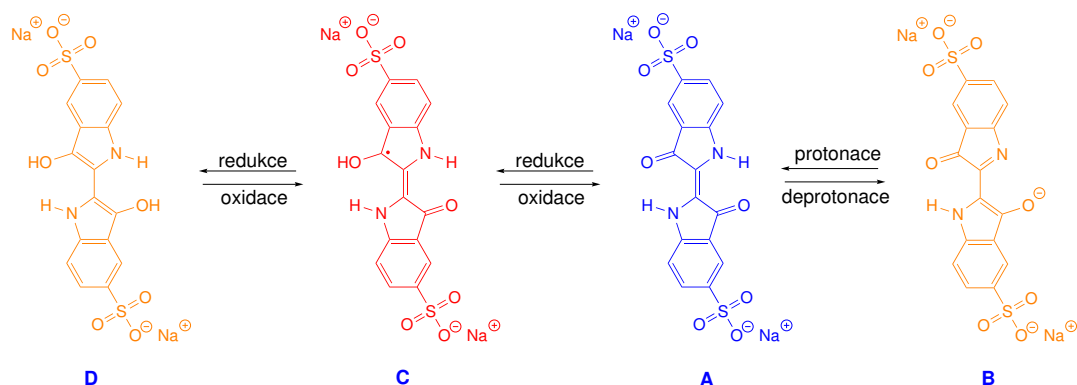
### Doplňující otázky:

1. Jak se nazývá slitina zinku a mědi, která má zlatavou barvu?

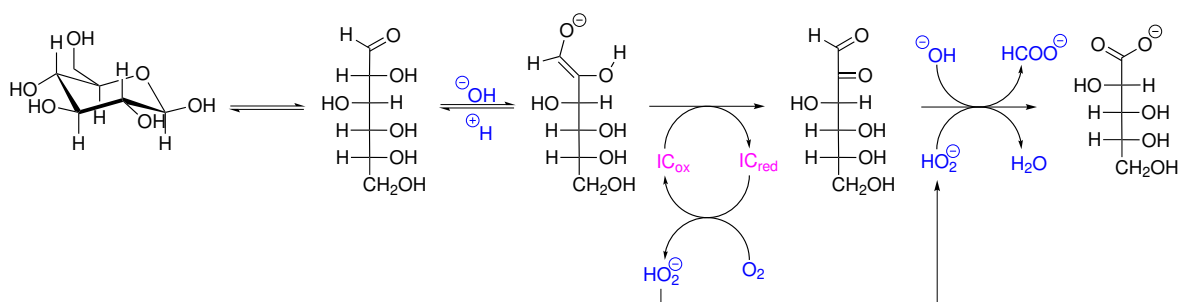
## Chemický semafor

Indigokarmín je modré barvivo, které lze připravit sulfonací indiga do druhého stupně. Díky přítomnosti dvou sulfo skupin je toto barvivo, na rozdíl od indiga, poměrně dobře rozpustné ve vodě. Indigokarmín našel využití jako potravinářské barvivo, v chemické laboratoři se pak využívá jako acidobazický nebo redoxní indikátor.

V silně zásaditém prostředí dochází k deprotonaci indigokarmínu **A** za vzniku žlutě zbarvené deprotonované formy **B**. Roztok indigokarmínu je modrý při pH menším než 11,4. Žlutá deprotonovaná forma převládá při pH vyšším než 13. Dvouelektronová redukce indigokarmínu probíhá ve dvou krocích. Přijetím jednoho elektronu vzniká červeně zbarvená forma **C**, jejíž pravděpodobná struktura je na schématu. Přijetím dalšího elektronu vzniká žlutá redukovaná forma barviva **D**.



V následujícím experimentu uvidíme všechny zmiňované formy indigokarmínu. V alkalickém roztoku dochází k oxidaci glukosy rozpuštěným vzdušným kyslíkem na směs produktů, mezi kterými jsou glukonová kyselina, glukuronová kyselina a další látky. Reakce je katalyzována různými redoxními katalyzátory, v tomto případě indigokarmínem, který současně funguje jako indikátor redoxního potenciálu reakční směsi. Předpokládá se, že podobné reakce nastávají při analogickém experimentu s methylenovou modří, kdy barvivo funguje současně jako katalyzátor reakce a jako redoxní indikátor.



V bazickém roztoku glukosy, který není míchán, dojde rychle ke spotřebování rozpuštěného kyslíku, čímž vznikne redukční prostředí, ve kterém indigokarmín přejde na svou žlutou redukovanou formu. Protřepáním roztoku se vzduchem dojde ke zvýšení koncentrace kyslíku v roztoku, což vede k oxidaci barviva na červenou a nakonec na modrou formu. Roztok však po nasycení kyslíkem v tomto případě nezíská modrou barvu, protože pH směsi je nastaveno na hodnotu, při které je modrý indigokarmín v rovnováze se svou žlutou deprotonovanou formou. Kombinace modré a žluté barvy pak dává vzniknout zelenému zabarvení roztoku.

## Pomůcky:

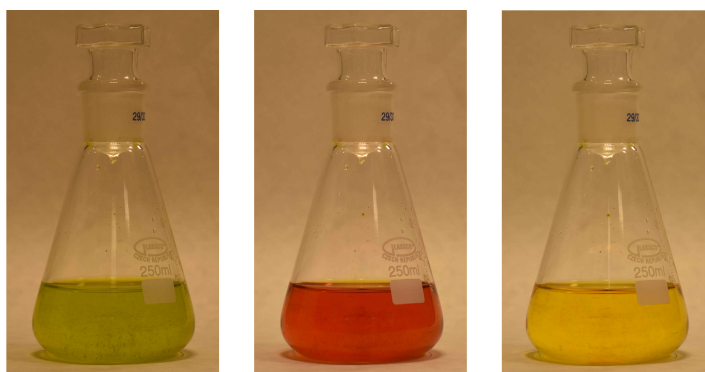
250 ml varná baňka se zábrusem a zátkou, lžičky na chemikálie.

## Chemikálie a materiál:

Glukosa, NaOH, indigokarmín.

## Postup:

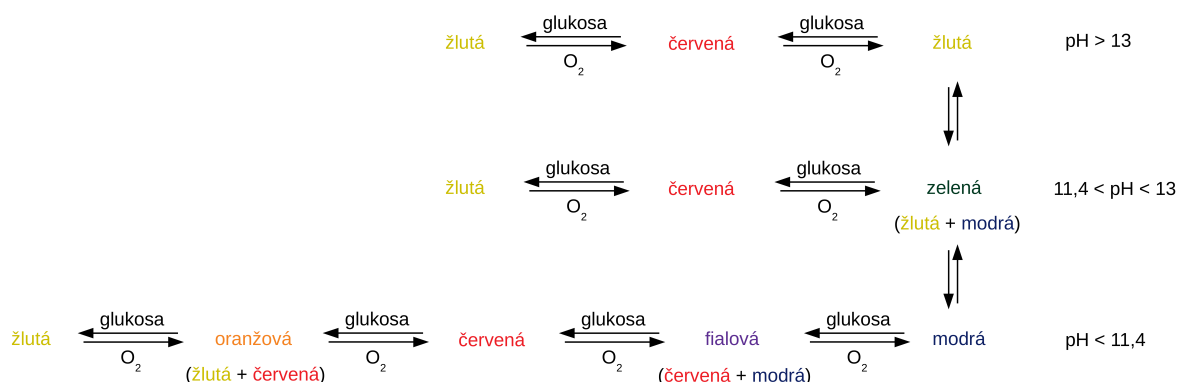
- Připravte roztok 2 g NaOH s 2 g glukosy ve 100 ml vlažné vody (případně úměrně větší množství) v baňce, kterou lze zazátkovat nebo jinak uzavřít.
- Roztok dobře promíchejte s velmi malým množstvím indigokarmínu tak, aby po smíchání bylo zřetelné světle zelené zbarvení roztoku.
- Baňku zazátkujte. Protřepáním roztoku lze docílit změny barvy žlutého roztoku přes červenooranžovou až do zelené, přičemž stáním roztok přechází zpět na žlutou barvu.



## Komentář:

Při přípravě roztoku je potřeba dbát na pořadí přidávání složek. Při změně pořadí nemusí pokus fungovat. Celý cyklus barevných přechodů při protřepání roztoku se vzduchem lze několikrát opakovat.

Změnou pH reakční směsi (zvýšením nebo snížením koncentrace NaOH v roztoku) můžeme výrazně ovlivnit podobu barevných přechodů, jak ukazuje následující schéma.



Indigokarmín se používá jako potravinářské barvivo a lze jej běžně zakoupit v obchodech s potravinami. Pro tyto aplikace bývá zředěn síranem sodným, jehož přítomnost však experimentu nevádí.



### Doplňující otázka:

1. Indigo i indigokarmín jsou důležitá barviva. Uveďte příklad praktického použití indiga.

## Modrá baňka

### Pomůcky:

500 ml nebo 250 ml varná baňka se zábrusem a zátkou, 2× lahvička s kapátkem, 500 ml odměrný válec.

### Chemikálie a materiál:

NaOH, glukosa, roztok methylenové modři (0,2 g methylenové modři rozpustit ve 100 ml destilované vody).

### Postup:

- Do 250ml baňky nalijte 100 ml destilované vody a přidejte 2 g NaOH.
- Po jeho rozpuštění přidejte 2 g glukosu.
- Jakmile se roztok odbarví, přidejte 6–8 kapek roztoku methylenové modři. Baňku zátkněte a roztok nechte se odbarvit.
- Mírným protřepáním se roztok zabarví do červena. Dalším intenzivním protřepáváním vznikne modře zbarvený roztok.
- Stáním se barva roztoku mění z modré na fialovou, pak červenou a nakonec se odbarví. Dalším protřepáváním baňky se celý proces znovu opakuje.

### Komentář:

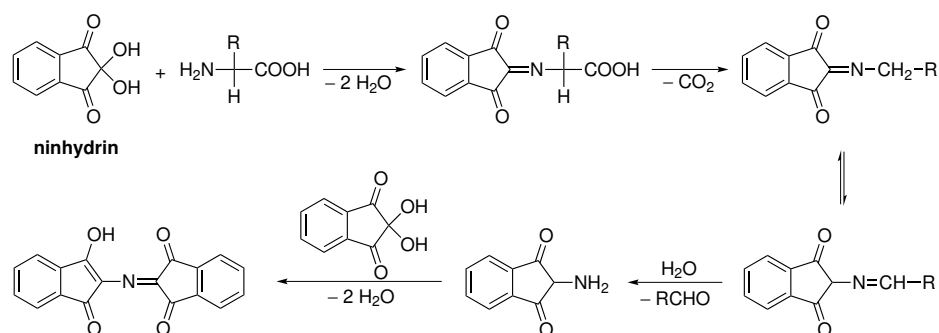
Experiment je založen na různě zbarvených oxidovaných a redukovaných formách výše uvedených organických barviv. Protřepáváním baňky se barviva dostávají do styku se vzduchem a nastává proces oxidace (oxidovaná forma methylenové modři je modrá a resazurinu červená). Stáním roztoku dochází k redukci barviv glukosou (redukována forma obou barviv je bezbarvá). Barvivo také slouží jako katalyzátor oxidace glukosu vzdušným kyslíkem.

Experiment je analogický k experimentu s indigokarmínem (chemický semafor).

## Dělení $\alpha$ -aminokyselin pomocí tenkovrstvé chromatografie

Biogenní  $\alpha$ -aminokyseliny budeme dělit pomocí tenkovrstvé chromatografie (TLC) na silufolové desce (silikagel jako stacionární fáze) s užitím směsi vodného amoniaku a isopropylalkoholu jako mobilní fáze. Identifikace látky na TLC je založena na srovnání retenčních faktorů složek vzorku a standardů.

Zkoumané aminokyseliny lze snadno vizualizovat jejich reakcí s ninhydrinem, která poskytuje barevný produkt.



Kyselina glutamová našla široké uplatnění jako ochucovadlo v různých druzích potravin. Tenkovrstvou chromatografií použijeme k důkazu přítomnosti této látky v několika druzích potravin.

### Chemikálie:

Mobilní fáze – 3% vodný roztok  $\text{NH}_3$ /isopropylalkohol 1:2 (V/V), standardy aminokyselin, 1,5% roztok  $\text{HCl}$ , 2% roztok ninhydrinu v ethanolu.

### Postup:

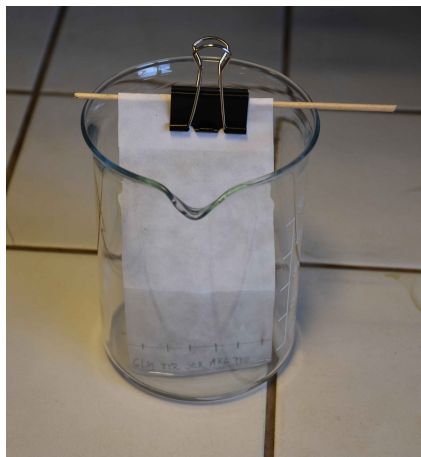
- Připravíme přibližně 1% roztoky standardů aminokyselin v 1,5%  $\text{HCl}$ . V 1,5%  $\text{HCl}$  také rozpustíme vzorek polévky v sáčku, extrakt soli z chipsů nebo malé množství sójové omáčky.
- Asi 0,5 cm od spodního okraje silufolové TLC desky narýsujeme měkkou tužkou startovní čáru. Roztoky standardů i vzorků nanese na startovní čáru pomocí skleněné kapiláry. Destičku vložíme do komory s mobilní fází a necháme chromatogram vyvíjet.
- Po skončení vyvíjení chromatogram vyjmeme z komory, tužkou označíme vzdálenost do které mobilní fáze vyvzlínala.
- Silufolovou desku položíme do upravené krabice umístěné v digestoři a postříkáme 2% roztokem ninhydrinu v ethanolu. Desku uchopíme pinzetou a opatrně zahřejeme v proudu teplého vzduchu z horkovzdušné pistole. Označíme středy skvrn a vypočítáme retenční faktory jednotlivých vzorků.

### Komentář:

Pokud nemáme k dispozici silufolové destičky, lze tenkovrstvou chromatografií aminokyselin provádět rovněž na filtračním papíře. Proužek filtračního papíru je možné nahoře přeložit, do záhybu vložit špejli nebo skleněnou tučinku a zajistit kolíčkem na prádlo nebo kancelářským klipem tak, aby spodní konec proužku zasahoval pod hladinu mobilní fáze v kádince (obrázek

11). Složení mobilní fáze je stejné jako v případě dělení na vrstvě silikagelu. Nevýhodou tohoto experimentu je větší rozpíjení skvrn dělených látek.

a)



b)



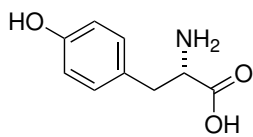
**Obr. 18:** Tenkovrstvá chromatografie aminokyselin na filtračním papíře. a) Uchycení proužku papíru (kádinku je vhodné během dělení zakrýt například alobalem); b) vizualizace aminokyselin pomocí ninhydrinu.

#### Doplňující otázky:

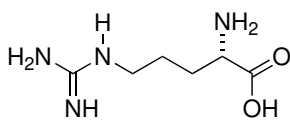
1. Pokuste se napsat strukturní vzorce použitých aminokyselin.
2. Na základě struktury odhadněte, která z aminokyselin bude mít v tomto experimentálním uspořádání (normální fáze) nejvyšší retenční faktor.
3. Proč je kyselina glutamová tak často přidávána do potravin?
4. Řada spotřebitelů se snaží vyhýbat potravinám s uměle přidanou kyselinou glutamovou (glutamátem). Výrobci proto do potravin místo čistého glutamátu přidávají jiná aditiva, která však obsahuje velké množství glutamátu. Zkuste dohledat názvy aditiv, která se užívají jako náhradní zdroj glutamátu.
5. Kyselina glutamová je biogenní aminokyselinou. Přesto konzumace velkého množství této látky může vést k poškození zdraví. Na základě znalostí biochemie navrhnete mechanismus, jakým kyselina glutamová může škodit.

#### Výsledky:

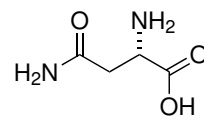
Látka	$R_f$	Barva skvrny
Asparagin		
Leucin		
Serin		
Glutamová kyselina		



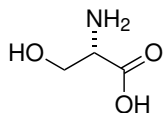
**Tyr** - tyrosin



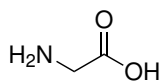
**Arg** - arginin



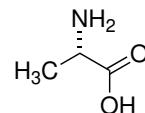
**Asn** - asparagin



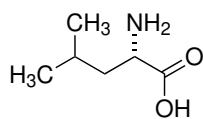
**Ser** - serin



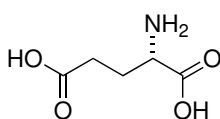
**Gly** - glycin



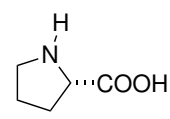
**Ala** - alanin



**Leu** - leucin



**Glu** - glutamová  
kyselina



**Pro** - prolin

## Dělení lipidů pomocí tenkovrstvé chromatografie

Lipidy jsou malé chemicky i funkčně nesourodé organické sloučeniny, produkované rostlinnými i živočišnými organismy. Jejich nejvýraznější společnou vlastností je velmi omezená rozpustnost ve vodě, která je způsobena přítomností velkých nepolárních uhlovodíkových struktur v molekule. Současně ve svých molekulách obsahují jen velice málo heteroatomů (O, S, N nebo P) schopných vytvářet polární vazby. Naopak dobře rozpustné jsou lipidy v organických nepolárních rozpouštědlech např. v benzenu, etheru, methanolu nebo chloroformu.

Lipidy můžeme rozdělit např. tuky a oleje (což jsou estery vyšších mastných kyselin a glycerolu), vosky (estery vyšších mastných kyselin a jednosytných vyšších mastných alkoholů), některé isoprenoidy (cholesterol a jeho estery) atd.

Lipidy obsažené v běžných potravinářských tucích budeme dělit pomocí tenkovrstvé chromatografie (TLC) s tzv. normální fází – stacionární fází bude silikagel a mobilní fáze směs organických rozpouštědel.

### Chemikálie:

Mobilní fáze: směs hexan/diethylether/kyselina octová 40:10:1 (V/V), petrolether, standard kyseliny palmitové, dekanové a cholesterolu, jod a roztok fosfomolybdenové kyseliny v ethanolu.

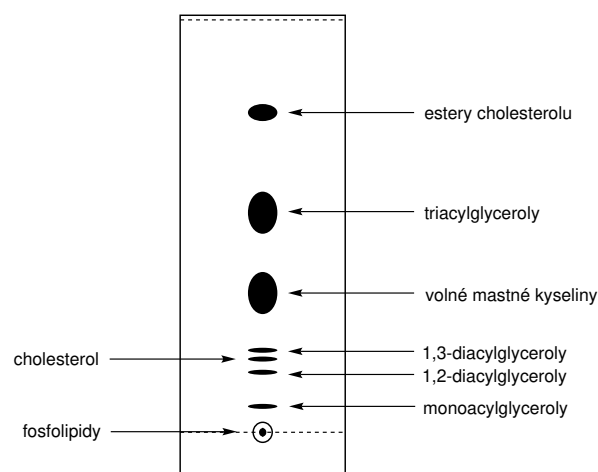
### Postup:

- Malá množství různých potravinářských tuků (margarin, máslo, rostlinný olej, sádlo, palmový olej atd.) rozpustíme v petroletheru. Ve stejném rozpouštědle také rozpustíme standardy kyseliny palmitové, dekanové a cholesterolu.
- Z vejce uvařeného na tvrdo vyjmeme žloutek, přidáme k němu 1 g uhličitanu draselného a směs v třecí misce rozetřeme s malým množstvím acetonu. Směs přefiltrujeme a filtrát nanese také jako vzorek na TLC desku.
- Asi 0,5 cm od spodního okraje silufolové TLC destičky narýsujeme měkkou tužkou podle pravítka startovní čáru. Roztoky standardů i vzorků nanese na startovní čáru pomocí skleněné kapiláry. Destičku vložíme do komory s mobilní fází a necháme chromatogram vyvíjet.
- Po skončení vyvíjení chromatogram vyjmeme z komory, tužkou označíme vzdálenost do které mobilní fáze došla.
- Silufolovou desku vložíme na několik minut do komůrky naplněné párami jodu. Po vyjmutí v komory tužkou obkreslíme barevné skvrny a vyznačíme jejich středy. Vypočítáme retenční faktory jednotlivých složek vzorků a srovnáme je se standardy. Provedeme rovněž vizualizaci pomocí fosfomolybdenové kyseliny – TLC chromatogram ponoříme do roztoku fosfomolybdenové kyseliny a desku následně vyžítáme v proudu horkého vzduchu z horkovzdušné pistole.



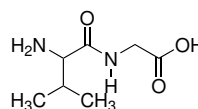
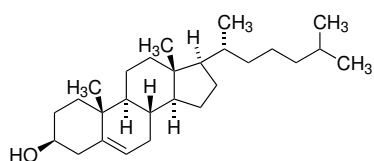
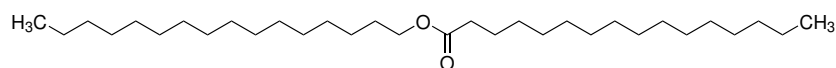
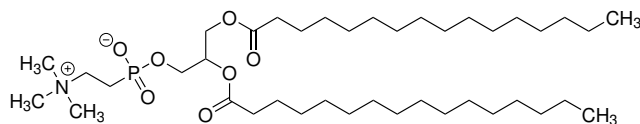
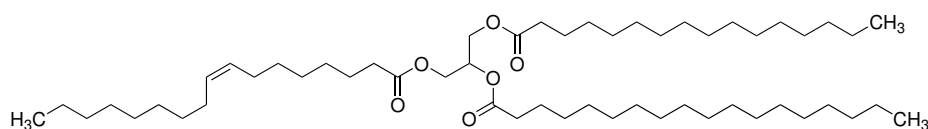
## Retenční faktory lipidů:

Látka	$R_f$	
	Tabelovaný	Stanovený
Estery cholesterolu	0,78	
Triacylglyceroly	0,53	
Volné mastné kyseliny	0,34	
1,3-diacylglyceroly	0,20	
Cholesterol	0,18	
1,2-Diacylglyceroly	0,14	
Monoacylglyceroly	0,06	
Fosfolipidy	0,00	



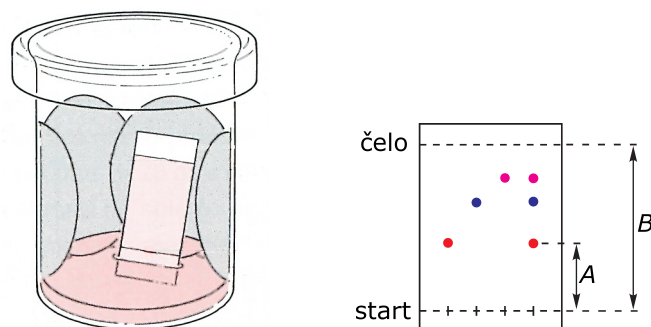
## Doplňující otázky:

1. Jaké jsou nejdůležitější funkce lipidů v lidském těle?
2. Kolik atomů uhlíku obsahuje v molekule kyselina palmitová?
3. Jak byste dokázali, že v tuku jsou přítomny nenasycené mastné kyseliny?
4. Pokuste se napsat strukturní vzorec 1,2-diacylglycerolu, ve kterém je jako acyl vázán zbytek kyseliny palmitové.
5. Kolik atomů uhlíku má nejnižší mastná kyselina?
6. Jsou pro smažení vhodné tuky s nízkým nebo vysokým zastoupením nenasycených mastných kyselin?
7. Určete, které z následujících strukturních vzorců reprezentují cholesterol, lecithin (fosfolipid) a triacylglycerol.



## Tenkvrstvá chromatografie

Tenkvrstvá chromatografie (TLC – z anglického Thin Layer Chromatography) je rutinně užívanou technikou v organické chemii, kde slouží jak ke sledování průběhu reakcí, tak k analýze složení směsí látek nebo k potvrzení čistoty a identity látek. Jako stacionární fáze slouží tenká vrstva sorbentu (především oxidu křemičitého, oxidu hlinitého nebo celulosy) a pojiva (škrob, sádra) na podložní destičce ze skla, hliníku nebo plastu. Jako mobilní fáze se v tomto případě používá směs organických rozpouštědel. Dělený vzorek se nanese nedaleko k jednomu okraji destičky, poté se destička tímto okrajem ponoří do mobilní fáze tak, aby se vzorek neocítl pod hladinou. Pohyb mobilní fáze (její vztlínání vzhůru) je zajištěn kapilárními silami, které způsobují vsakování mobilní fáze do sorbentu.



Chromatografické dělení se ukončí vyjmutím destičky z mobilní fáze těsně před tím, než čelo mobilní fáze dorazí k druhému okraji destičky. Podle své afinity k mobilní a stacionární fázi doputují během proudění mobilní fáze jednotlivé složky směsi do různé vzdálenosti od startu. Charakteristikou látky je u TLC tzv. *retenční faktor*  $R_f$ , což je podíl vzdálenosti středu skvrny od startu ku vzdálenosti čela mobilní fáze od startu:

$$R_f = \frac{A}{B}$$

$R_f$  je pro látku charakteristická hodnota jen za shodných podmínek dělení tj. složení mobilní a stacionární fáze, teploty.

## Rozdělení a identifikace rostlinných listových barviv s využitím tenkvrstvé chromatografie a spektrofotometrie

Barevné podzimní listí je fenoménem lesů mírného podnebí, který se stále nedaří detailně popsat a vysvětlit. I přesto, že se o popsání tohoto jevu snažilo mnoho vědců stále nemáme dostatek informací a dat, na kterých by šlo postavit jasné vysvětlení dějů, které během podzimu v rostlinách probíhají a proč (Moy, Le, & Verhoeven, 2015).

Některá fakta jsou ale nepopíratelná. Změna barvy listů a jejich následný opad jsou procesy spojené s životním cyklem. Poslední fáze, během které dochází ke zbarvení a je zakončena opadem se nazývá Senescence a můžeme říct, že se jedná o formu „buněčné smrti“. Na rozdíl od buněčné smrti je však senescence do určité fáze vratná, list se může znovu zazelenat (Moy, Le, & Verhoeven, 2015).

### Pomůcky:

Filtrační kruh (ideálně 2 na osobu), nálevka (ideálně 2 na osobu), silufolová destička, vyvíjecí komora na TLC, váhy, lžička, filtrační papír, nůžky, zkumavky, kapiláry, zdroj UV (366 nm),

třecí miska s tloučkem, skleněná tyčinka, odměrný válec, kádinky, skleněné kyvety, Vernier spektrofotometr s příslušenstvím.

### Chemikálie a suroviny:

Destilovaná voda, uhličitan vápenatý, aceton, směs petrolether (nebo benzín) – isopropylalkohol (propan-2-ol) – voda (v objemovém poměru 100:10:0,25), petrolether nebo benzín, ethanol, podzimní listy – z daného stromu/keře ideálně barevný i zelený list.

### Postup:

1. Navažte asi 4 g zeleného listu (cca jeden větší list) a nastříhejte ho na malé kousky do třecí misky, přidejte lžičku mořského písku a lžičku uhličitanu vápenatého. Směs rozetřete pomocí tloučku až do vzniku zelené kaše.
2. Směs rozdělte na stejné poloviny do dvou kádinek. Do jedné kádinky nalijte 10 ml acetonu, pečlivě promíchejte a přefiltrujte, zbytek kaše promyjte dalšími 5 ml acetonu a přefiltrujte.
3. Postupujte stejně u druhé kádinky jen za užití ethanolu.
4. Opakujte bod 1 až 3 se žlutým a červeným listem. Pokud je to možné, snažte se, aby listy byly ze stejného rostlinného druhu, případně rodu. Pokud to není možné, jeden z barevných listů nahraďte jiným druhem.
5. Jednotlivé ethanolové extrakty nalijte do samostatných zkumavek (výška sloupce by měla být asi 1 cm) a přidejte k nim stejné množství petroletheru nebo technického benzínu. Protřepte a počkejte, dokud se znovu nevytvoří 2 fáze. Pokud se dvě fáze nevytvoří, přidejte ke směsi malé množství vody ze stříčky. Porovnejte jednotlivé extrakty a zaznamenejte si pozorování.
6. Ethanolový extrakt připravený z červeného listu nalijte do čisté zkumavky a přidejte několik kapek kyseliny chlorovodíkové. Pozorujte změny následně přidejte malé množství hydroxidu sodného. Zapište si veškeré pozorované změny a podmínky, při kterých nastaly.
7. Připravte si 2 silufolové destičky. Na jednu naneste a na start pomocí kapiláry 10× acetonový extrakt ze zeleného, žlutého a červeného listu (Obrázek 12). Snažte se, aby byla linie co nejtenčí. Na druhou destičku naneste pouze jeden z extraktů, po celé šířce destičky, stejným způsobem jako v předchozím případě. Každou silufolovou destičku vložte kolmo do připravených vyvíjecích nádob s mobilní fází, přikryjte je a pozorujte změny. V okamžiku, kdy se mobilní fáze dostane cca 0,5 cm od okraje silufolové destičky, destičku z nádoby vyjměte a označte konečnou pozici čela mobilní fáze. Destičku ideálně vystavte UV záření vlnové délce 366 nm. Zaznamenejte si, k jakým změnám došlo a zaznačte je. U obou destiček vypočítejte a zapište si hodnoty retenčních faktorů jednotlivých signálů.
8. Vezměte vyvinutou destičku, na které byl pouze jeden vzorek a sorbent s jedním barevným pásem z destičky opatrně vyškrábejte pomocí malého nožíku. Získaný materiál ve zkumavce smíchejte s asi 5 cm<sup>3</sup> acetonu. Po několika minutách extrakce roztok přefiltrujeme do zkumavky. Do spektrofotometrické kyvety napipetujeme vždy asi 2 cm<sup>3</sup> extraktu.

9. Kyvetu vložíme do měřicí cely spektrometru a proměříme absorpční spektrum ve viditelné oblasti. Na základě porovnání pozice maxima a tvaru absorpčního spektra se pokusíme rostlinná barviva identifikovat. Díky retenčním faktorům můžeme identifikovat jednotlivá barviva na destičce se všemi vzorky a zjistit tak, k čemu v daných listech dochází.

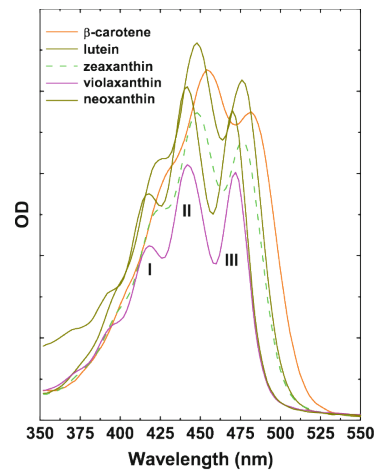
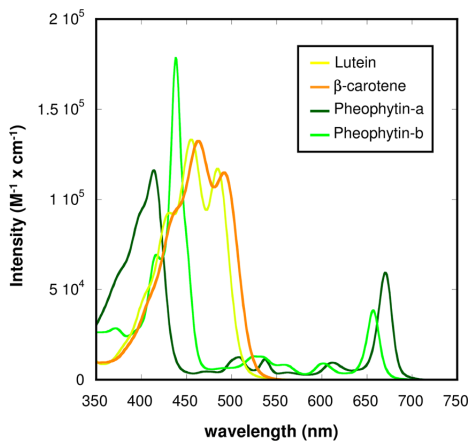
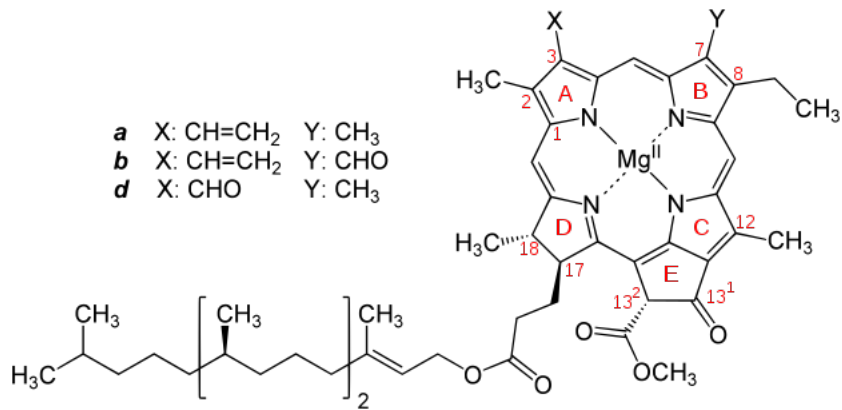
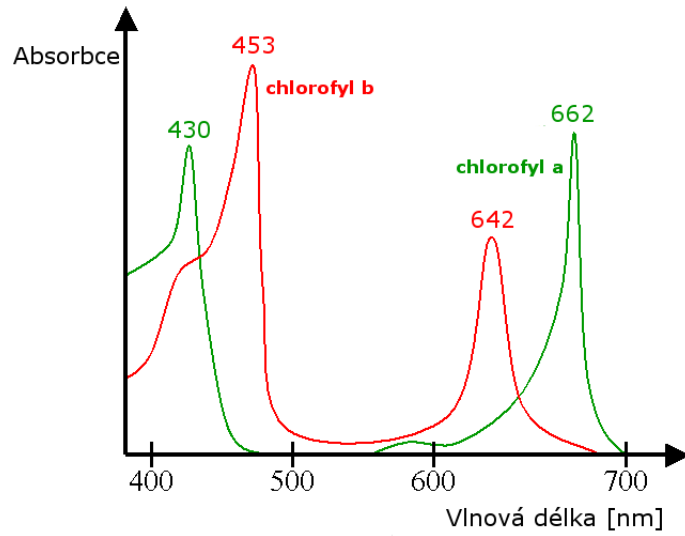


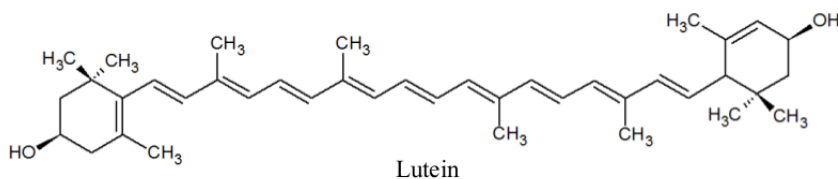
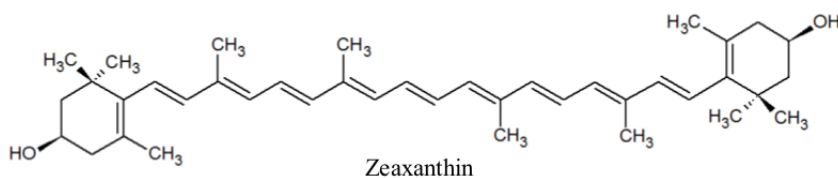
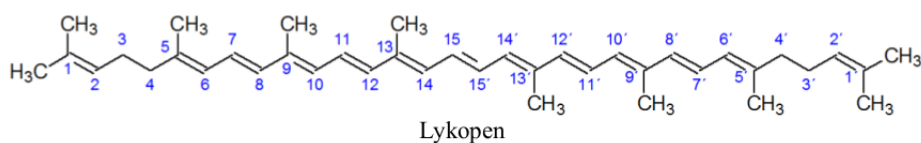
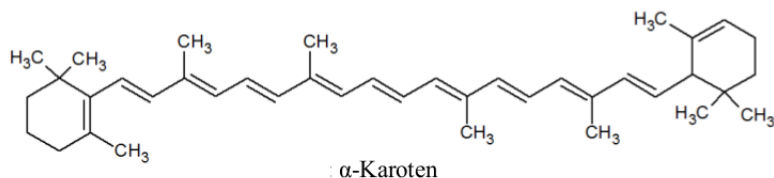
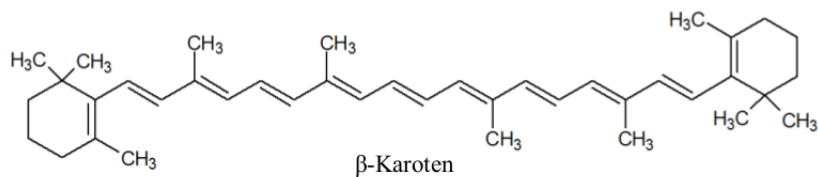
**Obr. 19:** TLC destička s naneseným acetonovým extraktem (1) zeleného, (2) žlutého a (3) červeného listu.

**Pozorování:**

Číslo skvrny	Retenční faktor	Absorpční maxima (nm)	Název barviva
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

# Absorpční spektra listových barviv





Barvivo	Vlnová délka absorpčních maxim (nm)
<b>Chlorofyl a</b>	436; 663
<b>Chlorofyl b</b>	460; 646
<b>Lutein</b>	460; 490
<b>Lykopen</b>	443; 471; 502
<b>Violaxanthin</b>	436
<b>Zeaxanthin</b>	450

**Přečtěte si text a odpovězte na otázky.**

Senescence je koordinovaný proces skládající se z řady vysoce regulovaných biochemických událostí. Během tohoto procesu jsou orgány, membrány a makromolekuly rozloženy na jednodušší látky jako jsou aminokyseliny, cukry a minerály, a exportovány do částí rostlin, které stále rostou, zejména do orgánů reprodukčních a zásobních. Stěžejními látkami transportovanými z listových buněčných struktur jsou především ty, které obsahují dusík a fosfor (Kraj, 2015).

Jelikož je více než 75 % dusíku, který se nachází v chloroplastech, součástí fotosyntetického aparátu (RUBISCO zaujímá 20–30 % celkového množství dusíku v listech), je naprosto logické, že dochází k jeho postupnému rozkladu. Prvním krokem tohoto procesu je odpojení chlorofylu od světlosběrných antén (Kuai, Chen, & Hörtensteiner, 2018).

K resorpci živin je potřeba funkční metabolismus, a proto si musejí rostliny vytvářet funkční ochranu před fotony, které nejsou z důvodu kompletního fotosyntetického aparátu zachycovány a mohou tak společně s volnými molekulami chlorofylu produkovat volné radikály a reaktivní formy kyslíku. Aby se předešlo předčasnému poškození rostlinným buňkám a tím i zkrácení doby, kterou mají rostliny ke shromáždění potřebných živin, je nutné, aby byla degradace chlorofylu přísně regulována (Kraj, 2015; Renner, & Zohner, 2019).

Kvůli své nebezpečnosti je volný chlorofyl aktivně degradován (Mattila et al., 2018). Degradáční dráha však existuje pouze pro chlorofyl a, proto se na něj chlorofyl b pomocí reduktas převádí (Kuai, Chen, & Hörtensteiner, 2018). Chlorofyl a je pak rozložen až na bezbarvý lineární tetrapyrrol. Meziproduktem této degradační dráhy je však katabolit, který projevuje fluorescenci, čímž mohou produkovat pro buňky nebezpečný singletový kyslík. Proto je tento produkt transportován do vakuol, kde je kyselé katabolizován. Výsledný produkt je bezbarvý a také bez fluorescenčních vlastností (dochází k narušení konjugovaného systému dvojných vazeb) (Matilla et al., 2018).

Degradace chlorofylu vede k bezbarvým produktům, čímž zelené zbarvení listů přechází na jiné, a to v důsledku genetického pozadí a dalších faktorů daného rostlinného druhu. Díky úbytku intenzivního zbarvení dochází ke zviditelnění mnoha dalších barviv a listy mohou mít žlutou, oranžovou, červenou, růžovou nebo až fialovou barvu. Tato zbarvení jsou pak způsobena především dvěma skupinami sloučenin, karotenoidy a antokyany (Ougham, Moris, & Thomas, 2005).

Karotenoidy jsou vysoce hydrofobní látky, mající převážně žlutou nebo oranžovou barvu. V chlorofylech zelených listů jsou nejvíce zastoupeny  $\beta$ -karoten,  $\alpha$ -karoten a xantofyly (tzv. okysličené karotenoidy), mezi ně patří violaxanthin, neoxanthin, antheraxantin, zeaxanthin a lutein. Zastoupení karotenoidů závisí na druhu a stáří listů a také na podmínkách prostředí. V listech se vyskytují jako doplňkové pigmenty fotosyntetického aparátu po celou dobu životního cyklu listu, a kromě funkcí spojených s fotosyntézou vystupují jako antioxidanty, které chrání buněčné struktury před poškozením. Karotenoidy jsou složeny téměř jen z uhlíku a vodíku, neobsahují důležité prvky, a proto jsou z hlediska přeskupování živin bezvýznamné. Během senescence se mohou rozkládat, přesouvat a chemicky modifikovat, ale nikdy nejsou nově syntetizovány. Jejich příspěvek k vitalitě rostlin je proto závislý na jejich pre-existenci (Ougham, Moris, & Thomas, 2005).

Další skupinou barviv jsou antokyany, které jsou po chlorofylu nejrozšířenějšími a nejznámějšími barvivy. Jsou ve vodě rozpustné a způsobují rozmanité zbarvení listů, od růžové, přes červenou až po modrou. Jejich základní strukturální jednotkou je flavyliový ion, který se váže na cukernou složku. Vazba na cukr má stabilizační charakter. Ve vodném prostředí a při rovnováze můžeme antokyany dle podmínek nalézt v jedné ze čtyř základních forem – flavyliový kation, chinoidní báze, chalkon a karbinol. Množství těchto složek je dáno pH roztoku. V kyselém prostředí převládá červený flavyliový kation a při vyšším pH dochází ke změně barvi na modrou v případě chinoidní báze, žlutou až oranžovou v případě chalkonu nebo bezbarvou u karbinolu. Antokyany se objevují v červených listech až v průběhu senescence, kdy se syntetizují před, během nebo těsně po začátku degradace chlorofylu, doba začátku syntézy antokyanů je druhově odlišná. Antokyany můžeme nalézt i v hnědých listech, jejichž zbarvení je způsobeno kombinací barevnosti antokyanů a karotenoidů. Barevnost způsobená antokyany je ovlivněna faktory jako je míra glykosylace, pH ve vakuolách a také přítomnost kopigmentů jako jsou flavonoly a flavony (Ougham, Moris, & Thomas, 2005).

Antokyany mají antioxidační účinky a také absorbují záření v modrozelené oblasti spektra, tím snižují množství reaktivních kyslíkových forem a poškození vyvolaná zářením. Díky této ochraně je umožněn efektivní transport dusíku do dřevního pletiva kmene a zásobních nebo reprodukčních orgánů. Antokyany jsou během senescence syntetizovány de novo a může se proto zdát, že je jejich ochrana pro rostlinu nákladná. Avšak během podzimu není růst rostlin tak velký, čímž se může z fotosyntézy získaná energie investovat do produkce ochranných látek. Navíc antokyany ovlivňují optické vlastnosti již při nízké koncentraci, což jsou důvody, proč se nakonec syntéza antokyanů rostlině vyplatí (Lee, 2002).

Proces senescence je důležitou fází v životním cyklu listů. Dochází při něm k transportu důležitých živin z nepotřebných struktur a jejich ukládání do zásobních a reprodukčních orgánů. Jedná se o proces, kdy dochází k rozkladu chlorofylu za účelem získání v jeho struktuře vázaného dusíku. Tento proces je provázen zachováním nebo syntézou ochranných pigmentů, které rostlinu chrání před případným poškozením. Fenomén senescence je dlouhodobě zkoumán a stále není úplně vysvětlen. Nicméně se zdá, že jednotlivé druhy používají v průběhu senescence rozdílné strategie foto-ochrany (Moy, Le, & Verhoeven, 2015).

### Doplňující otázky.

1. Co je hlavní podstatou senescence, proč je senescence zahájena?
2. Jaká barviva se v listech na podzim nacházejí?
3. Do grafu vyneste naměřená spektra vámi izolovaných barviv a pokuste se je identifikovat.
4. Co je feofytin po chemické stránce? Má v rostlině nějakou funkci? Pokud ano, uveďte ji.

### Zdroje

- KRAJ, W. Chlorophyll degradation and the activity of chlorophyllase and Mg-dechelataze during leaf senescence in *Fagus sylvatica*. *Dendrobiology*. 2015, 74, p. 43–57.
- KUAI, B., CHEN, J., HÖRTENSTEINER, S. The biochemistry and molecular biology of chlorophyll breakdown. *Journal of Experimental botany*. 2018, 69(4), p. 751–767.
- LEE, D.W. Anthocynins in Autumn Leaf Senescence. *Advances in Botanical Research*. 2002, 37, p. 147–165.
- MATTILA, H., VALEC, D., HAVURINNE, V., KHOROBRYKH, S., VIRTANEN, O., AN-TINLUOMA, M., MISHRA, K.B., TYYSTJÄRVI, E. Degradation of chlorophyll and synthesis of flavonols during autumn senescence – the story told by individual leaves. *AoB Plants*. 2018, 10, p. 1–13.
- MOY, A., LE, S., VERHOEVEN, A. Different strategies for photoprotection during autumn senescence in maple oak. *Physiologia Plantarum*. 2015, 155, p. 205–216.
- OUGHAM, H.J., MORIS, P., THOMAS, H. The colors of autumn leaves as symptoms of cellular recycling and defenses against environmental stresses. *Current Topics in Development Biology*. 2005, 66, p. 135–160.
- RENNER, S.S., ZOHNER, C.M. The occurrence of red and yellow autumn leaves explained by regional differences in insolation and temperature. *New Phytologist*. 2019, 224, 1464–1471.
- PODEŠVOVÁ, V. Rostlinná barviva, 2017, Masarykova univerzita, Brno.



## Plastelína z mouky

Pravděpodobně, každý z nás si vzpomene, jak jsme si v mateřské školce hráli s hmotou do které když jsme dostatečně dlouho bušili a vynaložili velké množství síly, tak šla tvarovat a vytvářet z ní různé věci. Říkali jsme jí modelína. V posledních pár letech se na český trh dostává její alternativa, která je jmenuje Play-doh. Oproti modelíně, je velmi měkká, poddajná a velmi dobře se s ní pracuje.

Hlavní složkou této modelíny je mouka, tedy konkrétněji škrob. Škrob se skládá z amylosy a amylopektinu. Základní složkou těchto polysacharidů je  $\alpha$ -D-glukopyranosa. V případě amylosy dochází k řetězení glukos 1 $\rightarrow$ 4 glykosidickou vazbou za vzniku lineární makromolekuly. Amylopektin má rozvětvený charakter a k větvení dochází skrze  $\alpha$ (1 $\rightarrow$ 6) glykosidickou vazbou.

Ve škrobovém zrně se vlákna amylosy a amylopektinu usazují kolem krystalizačních jader. Vodíkové vazby mezi vlákny dávají zrně jeho tvar. Na základě původu škrobu se liší podíl obsahu amylosy a amylopektinu.

Pokud se ke škrobu přidá voda, tak ji zrna absorbují a mírně nabobtnají. Pokud tuto směs zahřejeme na tzv. teplotu želatinace, dojde k narušení amylopektinové matrice a k uvolnění amylosy ze škrobových zrn. Tím vznikne sloučenina, která je pevná, ale poddajná.

Škroby s vyšším obsahem amylosy, tak vytvářejí pevnější gel.

Hlavním cílem dalších látek, které se do plastelíny přidávají, je vylepšit její vlastnosti a zvýšit její trvanlivost.

### Pomůcky:

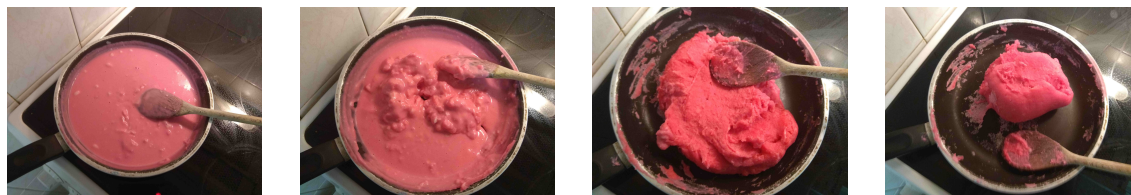
Teflonová pánev, vařič nebo sporák, vařečka, lžíce, miska.

### Chemikálie a suroviny:

Hladká mouka, sůl, ocet, olej, voda, potravinářská barviva a vonná esence (není nutná).

### Postup:

- V misce smíchejte 150 g hladké mouky, 80 g soli, dvě lžíce octa, lžíci rostlinného oleje, 300 ml vody. Přidat také můžete potravinářské barvivo (obarvit také můžete až hotovou plastelínu) a vonnou esenci (potlačí zápach octa a aroma mouky).
- Vzniklou směs nalijte na pánev a za stálého míchání vařečkou zahřívejte. Směs začne poměrně rychle tuhnout. Stále ji vařečkou propracovávejte a obračejte, dokud nám nevznikne jedna velká koule. Tu poté sundejte z pánve a nechte vychladnout.



Obr. 20: Postupné houštění hmoty na plastelínu.

## Komentář:

Připravená hmota může na konci přípravy stále trochu lepit. V tomto případě je doporučováno přidat více lubrikantu (rostlinného oleje). Vyrobená plastelína je slabě cítit octem. Proto během přípravy můžeme do hmoty přidat vonnou esenci.

Také lze připravit větší várku bezbarvé plastelíny, rozdělit ji a pak jednotlivé části obarvit různými potravinářskými barvami (hmotu je potřeba s barvou důkladně hníst). Velmi vhodnými jsou pro barvení plastelinové hmoty gelové potravinářské barvy.

Plastelínu skladujte v uzavřené nádobě nejlépe v lednici. Za těchto podmínek plastelína vydrží několik týdnů.



**Obr. 21:** Plastelína z mouky dodatečně obarvená různými potravinářskými barvivy (vlevo nahoře) a objekty z plastelíny vyrobené.

## Doplňující otázka:

1. Z připravené plastelíny (obarvené nebo neobarvené) zkuste něco vymodelovat a svůj výtvar vyfotíte.

## Izolace lepku z mouky

Lepek je společné označení pro skupinu zásobních proteinů zrn pšenice, žita, ječmene a ovsu. Tyto proteiny mají v prostředí s dostatečným množstvím vody tendenci tvořit pružnou a lepkavou hmotu, čehož s oblibou využíváme při výrobě pečiva.

Pšeničný lepek se skládá především ze dvou druhů bílkovin. První z nich jsou gluteniny, jejichž vlákna se mezi sebou snadno a na mnoha místech propojují (nejčastěji vodíkovými a disulfidovými vazbami) a vytvářejí tak tuhou, pevnou, elastickou síť. Druhým typem proteinů v lepku jsou gliadiny. Ty společně s vodou vazby gluteninů znesnadňují a výsledná síť je tak o něco méně houževnatá.

Při tvorbě těsta musí nejdříve dojít ke smísení mouky s vodou (aby mohly vznikat vodíkové vazby). Následně těsto obvykle hněteme nebo mícháme, přičemž se vlákna gluteninů přeuspořádávají a prodlužují ve směru namáhání. Pokud těsto nenamáháme pouze v jednom směru, vlákna se postupně rozptýlí do všech směrů a navzájem pospojují, takže ve výsledku by měla vzniknout téměř homogenní síť.

V následujícím experimentu z těsta vymyjeme z těsta proudem vody zrna škrobu. Zbylá hmota bude tvořena lepkem.

### Pomůcky:

Plastová miska.

### Chemikálie a materiál:

Hladká mouka (200 g), voda.

### Postup:

Smíchejte **200 g** hladké mouky s cca **100 ml** vody, abyste vytvořili těsto, které lze hníst. Hnětete asi **10 až 20 minut**, dokud nebude těsto pružné. Následně z těsta pod tekoucí vodou opatrně vyplachujte škrob a přitom se snažte udržovat těsto pohromadě. (Malé kousky lepku se možná budou drolit z povrchu těsta.) Pokračujte v promývání, dokud voda, kterou těsto promýváte, není čirá (cca 30 min). Výsledkem by měla být našedlá pružná hmota.



**Obr. 22:** Uhnětené těsto (vlevo) a lepek zbylý po vymytí zrníček škrobu z těsta (vpravo).

### Komentář:

Mouky z různých zdrojů se liší obsahem lepku. Můžeme zkusit stejný experiment také s rýžovou, pohankovou nebo cizrnovou moukou a stanovit, kolik lepku nám po vymytí škrobových zrn zůstane. Vymývání škrobu z těsta lze také usnadnit posolením těsta.

Ne ve všech těstech je však vznik lepku žádoucí, v sušenkách nebo křehkém těstě, po kterých většinou chceme, aby byly drobné, lepek obvykle nepotřebujeme a jeho vzniku (při přípravě těsta z pšeničné mouky) zabráňujeme tím, že omezíme množství vody (obvykle pouze z vejce), místo ní mouku promísíme s tukem (který navíc interaguje s hydrofobními úseky ve

strukturu lepku a brání tak interakci protein-protein) a suroviny pouze smícháme dohromady (těsto nenamáháme) a necháme odpočinout. Můžeme také použít mouku s nižším obsahem lepku (mouka určená pro sladké pečení).

Pokud pečeme litý koláč nebo dort, chceme, aby držel tvar a udržel v sobě bublinky vzduchu/vodní páry/ $\text{CO}_2$ , nechceme však, aby výsledný produkt byl gumový. Toho dosahujeme například snížením koncentrace lepku (řidké těsto), přidáním tuku/výběrem mouky (viz výše) nebo tím, že těsto po přidání a rozptýlení mouky dál příliš nemícháme.

#### Doplňující otázka:

1. Izolovaný lepek vyfotíte. Pokud máte k dispozici váhu, pokuste se odhadnout, kolik procent mouky tvoří lepek.

## Roztančené rozinky

Při reakci kyseliny se sodou vzniká oxid uhličitý. Jeho bublinky se přichytí na povrch rozinky, vynesou ji na hladinu, tam prasknou a rozinka zase klesne ke dnu.

#### Chemikálie a materiál:

$\text{NaHCO}_3$ , kuchyňský ocet, rozinky, voda.

#### Postup:

- Naplňte sklenici vodou a přidejte několik polévkových lžic octa.
- Zamíchejte a přidejte pár rozinek.
- Pak vsypte do roztoku polévkovou lžící jedlé sody (nemíchejte) a sledujte, jak se rozinky „dají do tance“.



**Obr. 23:** Roztančené rozinky.

#### Doplňující otázka:

1. Pořídte fotografii experimentu.



## Paramagnetismus kyslíku

Kyslík má velký význam pro veškerý život na Zemi – dikyslík  $O_2$ , který je běžně přítomen ve vzduchu kolem nás, je nezbytný pro dýchání a život většiny organismů, ozon  $O_3$  pak ve stratosféře chrání zemský povrch před ionizujícím světelným zářením ze Slunce. Molekula dikyslíku se vyznačuje neobvyklými vazebnými poměry. Molekula obsahuje sudý počet elektronů, přesto dva z nich jsou v základním stavu molekuly nespárované a mají stejnou orientaci spinu, což je u tak malých stabilních molekul neobvyklé. Výsledkem je, že kyslík je paramagnetický, je vtahován do magnetického pole.

Pro chování molekuly vzhledem k vnějšímu magnetickému poli je rozhodující počet nespárovaných elektronů a vzájemná orientace spinů těchto elektronů. Počet nespárovaných elektronů a orientace jejich spinů je vyjádřen tzv. *multiplicitou*, kterou lze vypočítat jako  $2ns + 1$ , kde  $n$  je počet nespárovaných elektronů se stejnou orientací spinu a  $s$  je spinové kvantové číslo. Multiplicita udává počet možných kombinací vzájemných orientací spinů částic (v tomto případě elektronů). Pokud jsou orientace spinů všech elektronů vzájemně vypárovány, je multiplicita 1 a stav označíme jako tzv. singlet. Jeden nespárovaný elektron v molekule znamená multiplicitu 2 a tento stav označíme jako dublet. Dva nespárované elektrony se souhlasnou orientací spinu pak označíme jako triplet.

Molekula dikyslíku v základním stavu má tedy tripletovou multiplicitu.

### Chemikálie a materiál:

Zdroj kyslíku (tlaková lahev nebo chemický vyvíječ kyslíku), kuchyňský saponát (Jar...)

### Pomůcky:

Neodymový permanentní magnet s remanentní magnetickou indukcí  $B_r$  alespoň 0,25 T, pryžová hadice, miska.

### Postup:

Připravte do misky roztok saponátu ve vodě. Na hladině by neměla být pěna. Ze zdroje kyslíku zavádějte pryžovou hadicí do roztoku saponátu čistý kyslík a nafoukněte mýdlovou bublinu, která zůstane na hladině. Následně k této bublině přiblížte silný permanentní magnet a sledujte pohyb bubliny. Magnet můžete zkusit přiblížit z více různých směrů, čímž potvrdíte, že se bublina pohybuje směrem k magnetu. Experiment vyžaduje klidný vzduch v místnosti.

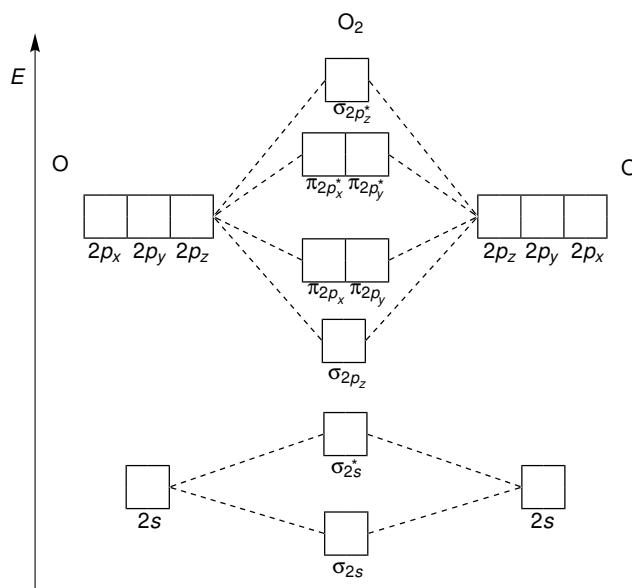
### Komentář:

Ještě efektnější je demonstrace paramagnetismu [kapalného kyslíku](#).

### Doplňující otázky:

1. Singletový stav molekuly  $O_2$  je nestabilní a reaktivní. Molekula dikyslíku může existovat dokonce ve dvou singletových stavech. Jednou z možností, jak se singletový kyslík může zbavit energie a přejít do základního stavu, je emise světla. V případě singletového kyslíku se nachází vlnová délka tohoto záření v červené části viditelného spektra. Zmíněná emise je podstatou jednoho zajímavého přírodního jevu. Dokážete uvést, o jaký jev se jedná?

2. Následující schéma ukazuje molekulové orbitály  $O_2$ . Doplňte do rámečků, které reprezentují atomové a molekulové orbitály, elektrony, aby odpovídaly konfiguraci tripletového dikyslíku.



## Paramagnetický roztok

### Pomůcky:

Vialka o objemu 10 nebo 20 ml, filtrační papír, kapátko, lžička, kádinka, nálevka, neodýmový magnet.

### Chemikálie a materiál:

Síran manganatý hydrát  $MnSO_4 \cdot nH_2O$  pevný, dichlormethan.

### Postup:

- Nejprve si připravte nasycený roztok síranu manganatého rozpuštěním dostatečného množství hydrátu (rozpuštěnost se liší podle použitého hydrátu) ve vodě. Nasycený roztok přefiltrujte.
- Dokonale odmaštěnou a suchou vialku naplňte do 2/3 jejího objemu dichlormethanem. Do dichlormethanu velmi opatrně pomocí kapátko vpravíme několik kapek (cca 2–3) nasyceného vodného roztoku síranu manganatého.
- Pomocí neodýmového magnetu pozorujeme paramagnetické vlastnosti roztoku  $MnSO_4$ .

### Komentář:

Manganatý kation je  $d^5$  iontem, který obsahuje 5 nepárových elektronů (elektronová konfigurace valenční sféry je  $4s^0 3d^5$ ), jejich spin není kompenzován žádnými spárovanými elektrony. Manganatý ion má vlivem těchto nepárových elektronů relativně velký magnetický moment  $m$ , na který může působit silné externí magnetické pole, např. neodýmového magnetu.

# Hydrotermální syntéza fluoreskujících uhlíkových kvantových teček

Nanotechnologie jsou právem považovány za perspektivní obor, který přinese lidstvu mnoho užitečných objevů. Nanotechnologie jsou vymezeny velikostí částic nebo objektů, se kterými pracují. Nanočástice mají velikost 1–100 nm, což odpovídá například velikosti molekul nebo krystalů sestavených z desítek až tisíců atomů. Díky své velikosti vykazují nanočástice unikátní vlastnosti, které nenajdeme u jednotlivých atomů nebo molekul ani u pevných látek.

Kvantové tečky jsou obecně polovodičové nanočástice, u kterých může dojít po absorpci fotonu k excitaci elektronu z valenčního pásu do pásu vodivostního. Návrat excitovaného elektronu zpět do valenčního pásu může být doprovázen emisí fotonu (luminiscencí). Vlnová délka (barva) emitovaného záření je ovlivněna mnoha parametry, jako je například velikost částic, přítomné funkční skupiny nebo modifikace povrchu částice.

Nanočástice lze připravovat rozrušováním větších struktur (molekul nebo krystalů) na menší částice nebo skládáním z menších prekurzorů. V této praktické úloze si vyzkoušíte druhý přístup. Zahříváním organických kyselin vznikají ve vodě rozpustné uhlíkové kvantové tečky (CQD), reakce vyžaduje přítomnost močoviny<sup>2</sup>, která pravděpodobně vznikající částice stabilizuje a chrání jejich povrch. Bez tohoto stabilizujícího vlivu by vzniklé částice nefluoreskovaly.

Připravené nanočástice jsou s vysokou pravděpodobností netoxické a kompatibilní s živými organismy.

Díky snadné přípravě CQD nacházejí tyto částice uplatnění v mnoha oblastech, například jako chemo- nebo biosenzory, fluorescenční barviva, fotokatalyzátory nebo optoelektronické materiály.

## Chemikálie a materiál:

Kyselina citronová a močovina.

## Pomůcky:

Kádinky (25 ml a 400 ml) a zdroj tepla (elektromagnetická míchačka s ohřevem, kahan, mikrovlnná trouba).

## Postup:

- Navažte **1 g** močoviny a **1 g** kyseliny citronové a rozpustíte látky v **2,5 ml** demineralizované vody.
- Vzniklý roztok zahřívajte v kádince tak, aby roztok intenzivně nevařil, ale aby se intenzivně odpařovala voda. Po vypaření většiny vody a zhoustnutí směsi se začne ze směsi uvolňovat malé množství amoniaku. Směs zahřívajte, dokud nevznikne žluto-hnědá medovitá hmota.
- Do kádinky nalijte několik ml vody a za míchání v ní hustou hmotu rozpustíte. Následně pozorujte fluorescenci roztoku pod UV lampou při excitační vlnové délce 366 nm.
- Na konec špejle namotejte malý smotek vaty a pomocí něj naneste roztok na papír. Pozorujte pod UV lampou při 366 nm.

---

<sup>2</sup>Songnan Qu, Xiaoyun Wang, Qipeng Lu, Xingyuan Liu, and Lijun Wang: A Biocompatible Fluorescent Ink Based on Water-Soluble Luminescent Carbon Nanodots. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 12215–12218.

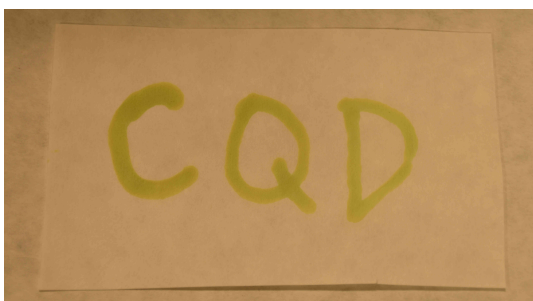
- Velkou kádinku (400 ml nebo větší) naplňte vodu, umístěte UV lampu nad kádinku nebo k její stěně a následně roztok CQD do vody v kádince nalijte. Pokus zvláště vynikne ve ztemnělé místnosti.



**Obr 24:** Fluorescence připravených uhlíkových nanočástic při 366 nm.



**Obr 25:** Fluorescence připravených biokompatibilních uhlíkových nanočástic při 366 nm.



**Obr 26:** Nápis provedený roztokem CQD ve viditelném světle (vlevo) a pod UV lampou při 366 nm (vpravo).



### **Komentář:**

Při zahřívání v mikrovlnné troubě je vhodné zkumavku vložit do kádinky a tuto kádinku zakrýt ještě další kádinkou, která je dnem vzhůru.

Uvedenou metodou vznikají uhlíkové částice různé velikosti, od několika nanometrů po velké aglomeráty. Analýzy ukazují, že částice obsahují přibližně 42 % uhlíku, 4 % vodíku, 21 % dusíku a 33 % kyslíku. Vnitřní struktura částic je nepravidelná s délkami vazeb C–C podobnými grafitu.

Zajímavou vlastností těchto uhlíkových kvantových teček je závislost kvantového výtěžku jejich fluorescence na prostředí. Částice deponované na kovu, skle, křemíku nebo plastech nevykazují fluorescenci, na vláknech celulosy (bavlna nebo papír) naopak fluoreskují.

Zmiňovaná UV lampa emitující záření o vlnové délce 366 nm se prakticky používá např. při ověřování pravosti bankovek.

### **Doplňující otázky:**

1. Když roztok obsahuje nanočástice o velikosti 6 až 14 nm, jedná se o homogenní nebo koloidní roztok?

## **Tajný inkoust na bázi uhlíkových kvantových teček**

Zahříváním směsi močoviny a kyseliny citronové vzniká žluto-hnědá směs uhlíkových částic, přičemž přítomné nanočástice intenzivně fluoreskují. Toho lze využít jako tajného inkoustu. Nápis je proveden vodným roztokem močoviny a kyseliny citronové, který je bezbarvý. Po zahřátí papíru je možné nápis vizualizovat pod UV lampou.

### **Chemikálie a materiál:**

Kyselina citronová a močovina.

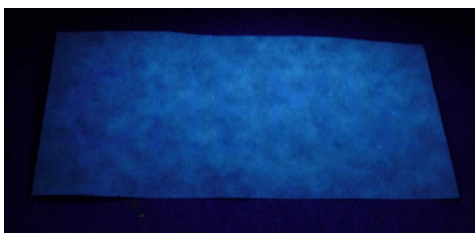
### **Pomůcky:**

Kádinka (100 ml), zdroj tepla (horkovzdušná pistole, plotýnkový vaříč...), špejle a vata.

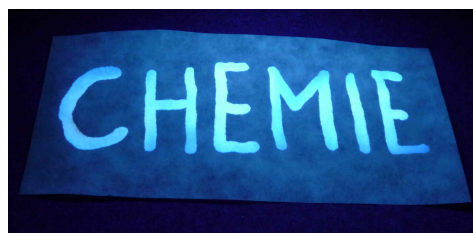
### **Postup:**

- Navažte **2 g** močoviny a **2 g** kyseliny citronové a rozpustíte látky v **5 ml** demineralizované vody.
- Malý kousek vaty namotejte na konec špejle, ponořte jej do připraveného roztoku a následně napište utajovaný text na papír.
- Papír vysušte proudem teplého vzduchu.
- Papír s nápisem krátce zahřejte nad horkovzdušnou pistolí, vaříčem nebo jiným zdrojem tepla na přibližně 300 °C. Po ochlazení pozorujte nápis pod UV lampou při 366 nm.

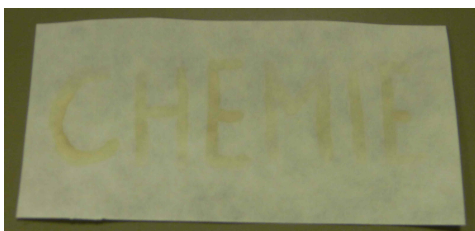
a)



b)



c)



**Obr 27:** a) Papír s nápisem před zahřátím pod UV lampou (366 nm); b) papír s vyvinutým nápisem pod UV lampou (366 nm); c) vyvinutý nápis v běžném světle.

## Základní chemické zákony – hoření ocelové vlny na vzduchu

Chemické reakce se řídí obecnými přírodními zákony. Jedná se zejména o zákon zachování hmotnosti a energie a zákony o stálých a násobných poměrech slučovacíh. Tyto zákony se člověk ve škole slovo od slova učí se značným opovržením, nicméně, pro chemiky v raných obdobích přeměny alchymie v chemii hrály obrovský význam.

Jedním ze základních experimentů, které vedly k destrukci tzv. flogistonové teorie, bylo objasnění hoření. Pokud totiž ponecháme hořet jakýkoliv kov, jeho hmotnost se hořením zvyšuje. Dochází totiž k jeho reakci s kyslíkem za vzniku oxidu daného kovu.

Železo může reagovat s kyslíkem ve třech různých poměrech za vzniku tří různých produktů, jak ukazují následující reakce:



### Chemikálie:

Ocelová vlna extra jemná (jemnost 0000).

### Postup:

- Tento experiment provádějte na k tomu určených předvážkách v digestoři.
- Na hliníkovou misku nebo tácek vytvarovaný z alobalu si odvažte přesně přibližně **4 g** ocelové vlny. Přesnou hmotnost ocelové vlny si zaznamenejte. Vlnu načehte tak, aby se k vláknům mohl dostat vzduch. Zároveň dbejte na to, aby byl chomáč kompaktní.
- Připravte si 9V baterii nebo zapalovač.
- Zapalte ocelovou vlnu na misce na několika místech. Vlnu lze pomocí 9V baterie zapálit tak, že se oběma póly baterie dotknete vlny. Následně ústy nebo pomocí horkovzdušné pistole či fénu na ocelovou vlnu foukejte tak, aby nezhasla, nerozfoukala se z misky, ale aby celá prohořela. Pokud zhasne, zapalte ji znovu pomocí baterie nebo zapalovačem.
- Jakmile železo celé shoří, zaznamenejte si hmotnost zbytku na misce.
- Buďte opatrní při manipulaci s táckem po skončení reakce, může být horký. V tom případě použijte kleště.



### Komentář:

Ocelovou vlnu lze zakoupit v obchodech specializujících se na brusné materiály nebo zpracování dřeva. Prodává se v řadě jemností od 2 do 0000.

Množství zachyceného kyslíku při hoření ocelové vlny závisí na teplotě hoření a přístupu vzduchu, proto je potřeba použít cca 4 g vlny a při hoření do ní foukat. Pokus lze samozřejmě provést i jako efektní demonstrační experiment bez stanovování stechiometrie reakce.

### Fyzikálně-chemické charakteristiky látek:

Látka	$M/(\text{g mol}^{-1})$
Fe	55,845
O	15,999

### Doplňující otázky:

1. Určete, v jakém molárním poměru zreagovalo železo s kyslíkem a který z oxidů železa vznikl.
2. Co způsobuje, že na rozdíl od jiných předmětů zhotovených z oceli ocelová vlna tak snadno hoří?
3. Do jakého druhu odpadu je možné produkt vyhodit?
4. Vysvětlete, jakým způsobem dojde k zapálení ocelové vlny zapalovačem i 9V baterií.

## Jodové hodiny – stanovení řádu reakce a rychlostní konstanty

Rychlostní rovnice popisuje závislost rychlosti reakce na koncentraci reagujících látek. Uvažme obecnou chemickou rovnici:



kde  $a$ ,  $b$ ,  $c$  a  $d$  jsou stechiometrické koeficienty látek A, B, C a D. Rychlostní rovnice má obvykle pro reaktanty A a B následující podobu:

$$v = k(T) \cdot [A]^\alpha \cdot [B]^\beta$$

kde  $\alpha$  a  $\beta$  jsou dílčí řády reakce a  $k(T)$  je rychlostní konstanta, která m.j. závisí na teplotě. Obecně dílčí řády reakce nejsou totožné se stechiometrickými koeficienty. Rychlostní rovnice reakce je stanovována experimentálně.

Rovnost  $a = \alpha$  a  $b = \beta$  platí jen pro elementární reakční kroky. Pokud je v mechanismu reakce více kroků, je souvislost mezi dílčími řády reakce a stechiometrickými koeficienty obvykle složitější. Experimentálně stanovená rychlostní rovnice bývá proto pomůckou při odhalování reakčního mechanismu studované reakce.

Řády reakce pro jednotlivé reaktanty se prakticky stanovují tak, že se měří počáteční rychlost reakce pro různé koncentrace jednoho reaktantu při zachování koncentrace ostatních reaktantů.

V této úloze stanovíme rychlostní rovnici reakce, která je známa jako tzv. jodové hodiny, během které dochází k prudkému nárůstu koncentrace jodu a vzniku modrého zbarvení jeho reakcí se škrobem. Existuje několik variant této reakce, v tomto experimentu využijeme reakce jodidu s okyseleným roztokem peroxidu vodíku, která je vyjádřena následující rovnicí.



V druhém kroku vzniklý jod reaguje rychle s thiosíranem sodným za obnovení jodidového anionu.



Protože je díky rychlé reakci s thiosíranem koncentrace vyloučeného jodu nízká, nevzniká viditelné zbarvení roztoku. Teprve v okamžiku, kdy je všechen přítomný thiosíran spotřebován reakcemi, dojde k rychlému vývoji jodu a rychlé změně zbarvení. Pokud stanovíme čas, za který došlo po zahájení reakce k zbarvení, můžeme odhadnout počáteční reakční rychlost (koncentrace thiosíranu musí být řádově nižší než koncentrace reagujících látek).

$$v = \frac{\Delta[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]}{2 \cdot \Delta t}$$

kde  $\Delta[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]$  je rovna počáteční koncentraci thiosíranu v roztoku a  $\Delta t$  je stanovený časový interval. Koeficient 2 ve jmenovateli reprezentuje stechiometrický koeficient thiosíranu v druhé rovnici a vyjadřuje skutečnost, že molekula  $\text{I}_2$  vzniká dvakrát pomaleji než thiosíran zaniká.

Ze stanovených počátečních reakčních rychlostí pro různé koncentrace jodidu draselného a konstantní koncentraci peroxidu vodíku můžeme využít následující rovnici pro výpočet  $\beta$ :

$$\frac{v_1}{v_n} = \frac{k \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^\alpha \cdot [\text{KI}]_1^\beta}{k \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^\alpha \cdot [\text{KI}]_n^\beta} = \left( \frac{[\text{KI}]_1}{[\text{KI}]_n} \right)^\beta$$

Zlogaritmováním levé a pravé strany rovnice získáme:

$$\log \left( \frac{v_1}{v_n} \right) = \log \left( \frac{[\text{KI}]_1}{[\text{KI}]_n} \right)^\beta = \beta \log \left( \frac{[\text{KI}]_1}{[\text{KI}]_n} \right)$$

Při vyhodnocení můžeme do grafu vynést závislost  $\log \left( \frac{v_1}{v_n} \right)$  na  $\log \left( \frac{[\text{KI}]_1}{[\text{KI}]_n} \right)$ , proložit body přímkou, která prochází středem souřadného systému. Směrnici přímky je dílčí řád reakce  $\beta$ .

Ze stanovených počátečních reakčních rychlostí pro různé koncentrace peroxidu vodíku a konstantní koncentraci jodidu draselného můžeme vypočítat analogicky  $\alpha$  následující rovnici:

$$\log \left( \frac{v_1}{v_n} \right) = \log \left( \frac{[\text{H}_2\text{O}_2]_1}{[\text{H}_2\text{O}_2]_n} \right)^\alpha = \alpha \log \left( \frac{[\text{H}_2\text{O}_2]_1}{[\text{H}_2\text{O}_2]_n} \right)$$

Se znalostí rychlostní rovnice můžeme stanovit rychlostní konstantu reakce z počátečních rychlostí reakce a počátečních koncentrací.

$$k = \frac{v_n}{[\text{H}_2\text{O}_2]_n \cdot [\text{KI}]_n}$$

### Chemikálie:

$\text{H}_2\text{SO}_4$  (96%),  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%), KI,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (bezvodý nebo pentahydrát), rozpustný škrob, kyselina octová a octan sodný (bezvodý nebo trihydrát).

### Příprava roztoků:

- **Roztok kyseliny sírové ( $c = 0,6 \text{ mol dm}^{-3}$ ):** do odměrné baňky ( $1000 \text{ cm}^3$ ) s přibližně  $200 \text{ cm}^3$  demineralizované vody odměřte  $33,3 \text{ cm}^3$  96% kyseliny sírové a doplňte demineralizovanou vodou po rysku.
- **Roztok acetátového pufru – kyselina octová ( $c = 1,56 \text{ mol dm}^{-3}$ ) + octan sodný ( $c = 0,15 \text{ mol dm}^{-3}$ ):** do odměrné baňky ( $1000 \text{ cm}^3$ ) navažte  $12,3 \text{ g}$  bezvodého octanu sodného nebo  $20,4 \text{ g}$  trihydrátu octanu sodného a odměřte  $89,2 \text{ cm}^3$  ledové kyseliny octové. Rozpusťte sůl v demineralizované vodě a následně roztok doplňte demineralizovanou vodou po rysku.
- **Roztok peroxidu vodíku ( $c = 0,15 \text{ mol dm}^{-3}$ ):** Do odměrné baňky ( $1000 \text{ cm}^3$ ) odměřte  $13,3 \text{ cm}^3$  30% roztoku peroxidu vodíku a doplňte demineralizovanou vodou po rysku.
- **Roztok jodidu draselného ( $c = 0,3 \text{ mol dm}^{-3}$ ):** do odměrné baňky ( $1000 \text{ cm}^3$ ) odvažte  $49,8 \text{ g}$  jodidu draselného. Sůl rozpusťte v demineralizované vodě a následně roztok doplňte vodou po rysku.
- **Roztok thiosíranu sodného ( $c = 0,0168 \text{ mol dm}^{-3}$ ) se škrobem (0,1%):** do odměrné baňky ( $1000 \text{ cm}^3$ ) navažte  $2,66 \text{ g}$  bezvodého thiosíranu sodného (nebo  $4,17 \text{ g}$  jeho pentahydrátu) a sůl rozpusťte v malém objemu demineralizované vody. Přidejte  $100 \text{ cm}^3$  1% roztoku škrobu, který vznikl vnesením pasty z  $1 \text{ g}$  rozpustného škrobu do  $100 \text{ cm}^3$  vroucí vody. Následně roztok doplňte vodou po rysku.

### Postup měření:

- Zaznamenejte teplotu v místnosti.
- Připravte sedm roztoků A a B smísením zásobních roztoků a vody podle rozpisu uvedeného v následujících tabulkách. Místo roztoku kyseliny sírové můžete také použít acetátový pufr.

Číslo	Roztok A		
	$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{cm}^3$	$V(\text{KI})/\text{cm}^3$	$V(\text{H}_2\text{O})/\text{cm}^3$
1	5,0	10,0	0,0
2	5,0	8,0	2,0
3	5,0	6,0	4,0
4	5,0	4,0	6,0
5	5,0	10,0	0,0
6	5,0	10,0	0,0
7	5,0	10,0	0,0

Číslo	Roztok B		
	$V(\text{H}_2\text{O}_2)/\text{cm}^3$	$V(\text{H}_2\text{SO}_4)/\text{cm}^3$	$V(\text{H}_2\text{O})/\text{cm}^3$
1	10,0	5,0	0,0
2	10,0	5,0	0,0
3	10,0	5,0	0,0
4	10,0	5,0	0,0
5	8,0	5,0	2,0
6	6,0	5,0	4,0
7	4,0	5,0	6,0

- Do Erlenmeyerovy baňky o objemu 50 nebo 100 cm<sup>3</sup> napipetujte 15 cm<sup>3</sup> roztoku A. Do čisté kádinky napipetujte rovněž 15 cm<sup>3</sup> roztoku B. Následně velmi rychle přidejte k roztoku v Erlenmeyerově baňce roztok z kádinky a promíchejte. Ve stejný okamžik spusťte časomíru na stopkách.
- V okamžiku, kdy dojde k modrému zbarvení roztoku, zastavte stopky a čas zaznamenejte do tabulky.
- Erlenmeyerovu baňku důkladně opláchněte demineralizovanou vodou a proveďte znovu měření. Snažte se zajistit, by všechny roztoky měly stejnou (laboratorní) teplotu.
- Doplňte koncentrace reaktantů v reakční směsi a vypočítejte odhad reakční rychlosti. Předpokládejte, že pro tyto zředěné roztoky platí aditivita objemu. Odhadněte řád reakce vzhledem k peroxidu vodíku i jodidu draselnému. Pokuste se také odhadnout rychlostní konstantu reakce.

Číslo	$[\text{KI}]_0/(\text{mol dm}^{-3})$	$[\text{H}_2\text{O}_2]_0/(\text{mol dm}^{-3})$	$t/\text{s}$	$v/(\text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1})$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

$$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3]_0/(\text{mol dm}^{-3}) =$$

### Komentář:

Existuje několik variant jodových hodin, které se liší použitými výchozími látkami. Přehled těchto reakčních systémů najdete na wikipedii:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Iodine\\_clock\\_reaction](https://en.wikipedia.org/wiki/Iodine_clock_reaction)

V roztoku s acetátovým pufrům reakce probíhá pomaleji než ve směsi s kyselinou sírovou. Reakce je ale lépe reprodukovatelná v pufovaném roztoku.

### Fyzikálně-chemické charakteristiky látek:

Látka	$M/(\text{g mol}^{-1})$	$\rho/(\text{g cm}^{-3})$
KI	166,0028	–
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30%)	34,0174	1,11
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (96%)	98,079	1,84
CH <sub>3</sub> COOH	60,052	1,05
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	158,11	–
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O	248,18	–
CH <sub>3</sub> COONa	82,0343	–
CH <sub>3</sub> COONa · 3H <sub>2</sub> O	136,09	–

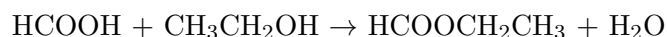
### Doplňující otázky:

1. Určete dílčí řády reakce vzhledem k peroxidu vodíku a jodidu draselného.
2. Ze všech měření vypočítejte průměrnou rychlostní konstantu reakce.
3. Odhadněte, kolik procent peroxidu vodíku a jodidu draselného z počáteční koncentrace ubylo v okamžiku, kdy došlo k barevné změně (vezměte v úvahu nejnižší a nejvyšší použitou koncentraci výchozích látek). Myslíte si, že skutečně stanovujete počáteční reakční rychlosti?
4. Vysvětlete, jak vzniká zabarvení roztoku jodu v přítomnosti škrobu.
5. S využitím stanovené rychlostní rovnice určete, jak se změní reakční rychlost, když bude koncentrace jodidu poloviční.
6. S využitím stanovené rychlostní rovnice určete, jak se změní reakční rychlost, když bude koncentrace peroxidu vodíku poloviční.
7. S využitím stanovené rychlostní rovnice určete, jak se změní reakční rychlost, když bude koncentrace thiosíranu poloviční.
8. S využitím stanovené rychlostní rovnice určete, jak se změní reakční rychlost, když dojde ke zředění reakční směsi na dvojnásobný objem.
9. Vysvětlete, jak závisí rychlostní konstanta  $k$  na teplotě.
10. Představte si, že byste chtěli své posluchače překvapit přesným načasováním barevné změny roztoku. S využitím stanovené rychlostní konstanty navrhnete koncentraci peroxidu vodíku a jodidu draselného, která by vedla k barevné změně po 32 sekundách (zvolte si, zda v přítomnosti kyseliny sírové nebo acetátového pufru).
11. **Nepovinná otázka:** Příkladem reakce, u které se dílčí řády nerovnajíc stechiometrickým koeficientům, je monomolekulární alifatická substituce S<sub>N</sub>1. Zopakujte si mechanismus této reakce, zkuste pro jednotlivé reakce mechanismu napsat rychlostní rovnice a pak vysvětlete, proč má celková rychlostní rovnice podobu známou z učebnic (rychlost nezávisí na koncentraci nukleofilu).



## Demonstrační příprava ethyl-formiátu

Ethyl-formiát, ethylester kyseliny mravenčí ( $\text{HCOOCH}_2\text{CH}_3$ ) lze připravit reakcí kyseliny mravenčí s ethanolem v přítomnosti bezvodého chloridu vápenatého, který může fungovat jako Lewisova kyselina a současně odnímá vodu, čímž posunuje reakční rovnováhu ve prospěch esteru. Reakce probíhá velmi snadno, protože kyselina mravenčí je ve srovnání s ostatními karboxylovými kyselinami lepší elektrofil – atom uhlíku karbonylu je stericky méně bráněný a současně více elektrondeficitní.



### Chemikálie:

Kyselina mravenčí (98%), ethanol (98%), bezvodý  $\text{CaCl}_2$  a 5% vodný roztok  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### Pomůcky:

Dvě zkumavky, zátka, chladicí prst (lze nahradit zátkou), Pasteurova pipeta nebo kapátko, stojan na zkumavky a nádoba na vodní lázeň (větší kádinka, hrnec...).

### Postup:

- Do zkumavky navážíme **0,5 g** práškového bezvodého chloridu vápenatého, přidáme **1,4 cm<sup>3</sup>** kyseliny mravenčí a **2,2 cm<sup>3</sup>** ethanolu. Přidáme varný kamínek.
- Zkumavku zazátkujeme nebo do ústí umístíme chladicí prst (menší zkumavku naplněnou studenou vodou). Směs promícháme a zkumavku vložíme na **5 minut** do vodní lázně vyhřáté na cca 60 °C. Během zahřívání směs občas promícháme. Pozorujeme, jak na chladných stěnách zkumavky kondenzuje ester (*t.v.* = 54 °C).
- Přidáme **5 cm<sup>3</sup>** vody a směs promícháme. Pozorujeme, jak se ve zkumavce oddělují dvě fáze, horní fáze je tvořena vzniklým esterem, který je nemísitelný s vodou (hustota ethyl-formiátu je 0,921 g cm<sup>-3</sup>).
- Pokud chceme demonstrovat i vůni esteru, horní vrstvu ve zkumavce oddělíme pomocí pasteurovy pipety nebo kapátka do druhé zkumavky a protřepeme s několika cm<sup>3</sup> 5% vodného roztoku  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Při protřepání dojde k neutralizaci zbytkové kyseliny mravenčí. Oddělenou vrstvu esteru odebereme pomocí pasteurovy pipety nebo kapátka. Takto připravený ester je poměrně čistý, obsahuje však vlhkost.

Postup lze modifikovat pro přípravu dalších esterů kyseliny mravenčí s dalšími primárními stericky nebráněnými alkoholy.



**Obr. 28:** Aparatura pro jednoduchou přípravu ethyl-formiátu. Reakční směs je ve zkumavce zahřívána vodní lázní. Do ústí zkumavky je vložena zkumavka naplněná studenou vodou, která funguje jako zpětný chladič. Zkumavka má menším vnější průměr, než je vnitřní průměr větší zkumavky, a je na ústí větší zkumavky držena ustříženou pryžovou hadicí.

#### Fyzikálně-chemické charakteristiky reaktantů a produktů:

Látka	Vzorec	$M_r$	$\rho/(g\ cm^{-3})$	$t.v./^{\circ}C$	$n_{20}^D$
Ethanol	$C_2H_6O$	46,069	0,789	78,2	1,3611
Kyselina mravenčí	$CH_2O_2$	46,03	1,22	100–101	1,370
Ethyl-formiát	$C_3H_6O_2$	74,079	0,921	54,0	1,359

## Preparativní příprava ethyl-formiátu

### Chemikálie:

Kyselina mravenčí (98%), ethanol (98%), bezvodý  $CaCl_2$  a nasycený vodný roztok  $Na_2CO_3$ .

### Pomůcky:

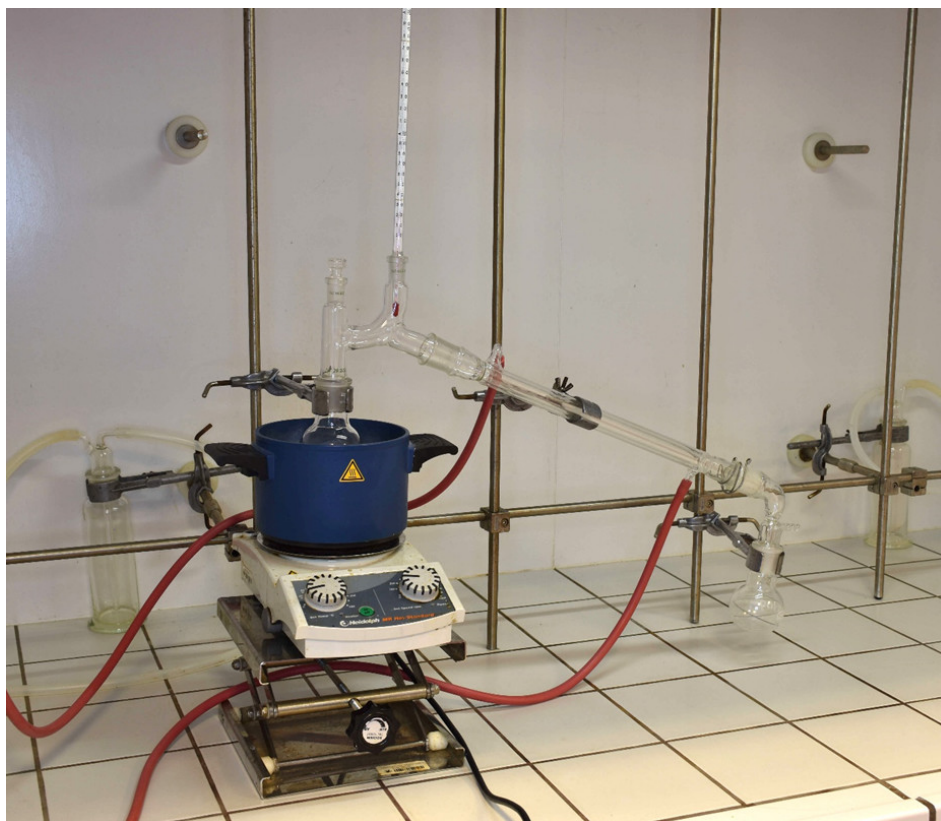
Destilační aparatury se zábrusy NZ 29 a NZ 14 (destilační nástavec, chladič a alonž), destilační baňky o objemu  $100\ cm^3$ , zábrusový teploměr, vodní lázeň (hrnec, krystalizační miska), elektromagnetická míchačka nebo plotýnkový vařič, odměrný válec, dělicí nálevka, Erlenmeyerova baňka o objemu  $100\ cm^3$ , nálevka a varný kamínek (např. drobný porcelánový střep).

### Postup:

- V baňce o objemu  $100\ cm^3$  s kulatým dnem smícháme  **$14\ cm^3$**  kyseliny mravenčí s  **$22\ cm^3$**  ethanolu a  **$5,0\ g$**  bezvodého  $CaCl_2$ . Nezapomeneme do baňky přidat varný

kamínek.

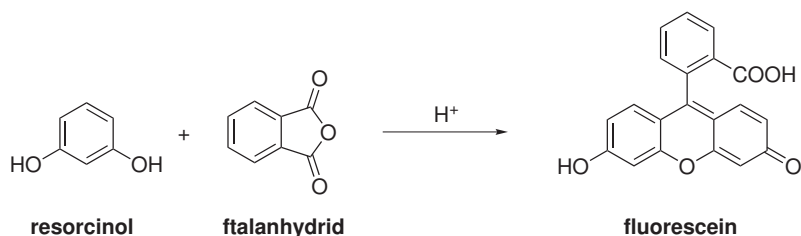
- Sestavíme destilační aparaturu dle obrázku, zapneme přívod vody a pozvolna zahříváme tak, aby destilovala kapalina při teplotě kolem **55 °C**.



- Destilaci ukončíme v okamžiku, kdy v destilační baňce zůstává destilační zbytek o objemu cca **10 cm<sup>3</sup>**.
- Destilát v předloze obsahuje malé množství vody a kyseliny mravenčí. Kyselinu mravenčí odstraníme protřepáním produktu s **10 cm<sup>3</sup>** nasyceného vodného roztoku Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> v dělicí nálevce.
- Po oddělení vodné vrstvy vlijeme ester do malé Erlenmeyerovy baňky o objemu 100 cm<sup>3</sup> a přisypeme malou lžičku bezvodého CaCl<sub>2</sub>, který slouží k vysušení produktu.
- Výsledný surový produkt oddělíme od sušidla filtrací a předestilujeme jej v destilační aparatuře se zábrusy NZ 14.

## Příprava fluoresceinu

Fluorescein je syntetická organická látka, která má podobu tmavěoranžového až červeného prášku, který je omezeně rozpustný ve vodě a v alkoholech. Používá se běžně v různých oborech jako fluorescenční značka, například se jako fluorofor používá běžně ve fluorescenční mikroskopii, jako aktivní medium v laserech, k detekci krve v soudnictví a serologii a také jako barvivo při odhalování toku kapalin.



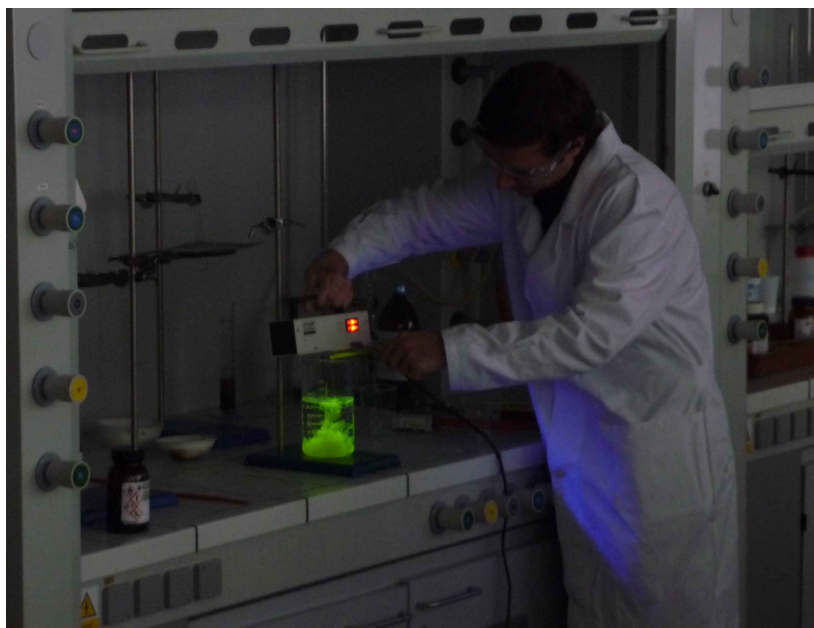
### Chemikálie:

Resorcinol, ftalanhydrid, konc. kyselina sírová, vodný roztok NaOH nebo jiné zásady (KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>...).

### Postup:

V třecí misce rozetřete **200 mg** ftalanhydridu s **150 mg** resorcinolu a směs přeneste do zkumavky. Směs ve zkumavce opatrně zahřejte kahanem, až dojde k jejímu rozpuštění (ústí zkumavky směřujeme do digestoře). Následně opatrně přidejte několik kapek koncentrované kyseliny sírové a směs promíchejte. Ihned po přidání kyseliny sírové dojde k barevné změně.

Po ochlazení ke směsi ve zkumavce přidejte několik ml roztoku zásady a mícháním reakční směs v roztoku rozpustíte. Směs následně nalijte do velké nádoby naplněné vodou (velká kádinka, akvárium). Zvláště experiment vynikne pod UV lampou, která emituje měkké UV záření.

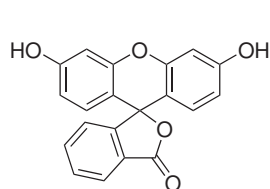


### Doplňující otázky:

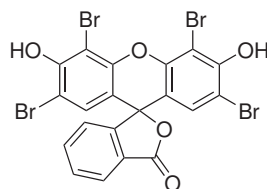
1. Identifikujte v molekule produktu všechny prekurzory.
2. Nakreslete vzorce forem, ve kterých fluorescein existuje v kyselém a bazickém prostředí.
3. Pozorovateli se může jevit, že roztok fluoresceinu má více barev v závislosti na způsobu pozorování. Pokud pozorujeme světlo prošlém roztokem, roztok má žluto-hnědou barvu. Při pozorování odraženého světla se naopak jeví jako jasně zelený. Vysvětlete tuto proměnlivost barev.

### Luminiscence fluoresceinu ve skle kyseliny borité

Kvantový výtěžek fluorescence (tj. podíl emitovaných a absorbovaných fotonů) je silně závislý na chemickém okolí molekuly, protože vyzáření fotonu fluorescencí není jediná cesta jak se excitovaná molekula může deexcitovat. Rigidní prostředí obvykle vede ke zvýšení kvantového výtěžku emise světla a prodloužení doby života excitované molekuly.



fluorescein



eosin

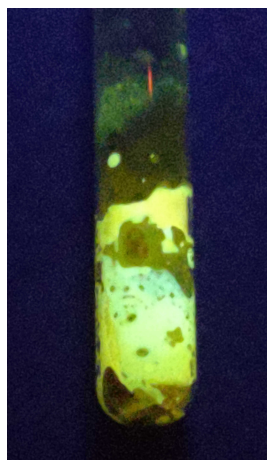
### Chemikálie:

Kyselina boritá, fluorescein.

### Postup:

Velmi malé množství fluoresceinu rozetřete s kyselinou boritou a vše roztavte nad kahanem ve zkumavce na žlutozelené sklo. Pak zkumavku nechte vychladnout. Sklovitá hmota vždy po nasvícení viditelným nebo ultrafialovým světlem několik sekund intenzívně fosforeskuje.

Experiment můžete vyzkoušet i s eosinem.



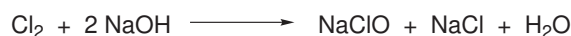
### Doplňující otázky:

1. Jedná se ve skutečnosti o fluorescenci nebo fosforescenci?

## Chemiluminiscence singletového kyslíku ( $^1\Delta_g$ )

Kyslík má velký význam pro veškerý život na Zemi – dikyslík  $O_2$ , který je běžně přítomen ve vzduchu kolem nás, je nezbytný pro dýchání a život většiny organismů, ozon  $O_3$  pak ve stratosféře chrání zemský povrch před ionizujícím světelným zářením ze Slunce. Základní nejstabilnější stav dikyslíku  $O_2$  je tripletový, což znamená, že dikyslík je paramagnetický. Naopak singletový dikyslík je excitovaná forma molekulárního kyslíku, která je i více reaktivní. Další zajímavou vlastností je jeho schopnost chemiluminiscence, kdy excitované molekuly vyzářují přebytek energie mimo jiné v podobě fotonů s vlnovou délkou 762 nm.<sup>3</sup>

Často využívanou metodou přípravy singletového kyslíku je reakce peroxidu vodíku s chloranem sodným. Prakticky se reakce provádí zaváděním plynného chloru do koncentrovaného roztoku NaOH a  $H_2O_2$  ve vodě. Chlor v roztoku podléhá následujícím reakcím:



Vzniká nestabilní chloritan sodný, který se rozkládá podle rovnice:



Jedním z možných postupů pro přípravu singletového kyslíku je také reakce polyfenolů s  $H_2O_2$  v přítomnosti formaldehydu v bazickém prostředí (Trautzova-Schoriginova reakce). Jako přírodní zdroj polyfenolů může posloužit zelený čaj. Velkou výhodou tohoto experimentu je možnost provádět jej mimo digestoř.

Některé látky mají schopnost zabránit vzniku singletového kyslíku. Jednou z takových látek je například kyselina askorbová, která je běžně označována jako vitamín C. Schopnost zhaset chemiluminiscenci singletového kyslíku souvisí s její funkcí v lidském těle. Tato látka kromě jiných funkcí slouží jako antioxidant, proto je nezbytnou složkou potravy.

## Generování singletového kyslíku reakcí NaClO s $H_2O_2$

### Pomůcky:

Dvouhrdlá (trojhrdlá) baňka, přikapávací nálevka, kádinky, pryžová hadice, skleněná trubička.

### Chemikálie:

Manganistan draselný, konc. kyselina chlorovodíková, hydroxid sodný, peroxid vodíku (30 %).

---

<sup>3</sup>Energetický rozdíl mezi singletovým a tripletovým stavem molekuly kyslíku odpovídá fotonu s vlnovou délkou, která se nachází v infračervené, tudíž člověku neviditelné, části spektra. Aby došlo k vyzáření fotonu s vlnovou délkou 762 nm, je potřeba, aby se dvě molekuly singletového kyslíku srazily a současně podlehly zářivému přechodu do základního stavu. Tento mechanismus proto znamená, že intenzita viditelné chemiluminiscence singletového kyslíku klesá se druhou mocninou jeho koncentrace (parciálního tlaku). Při nízké koncentraci proto viditelná chemiluminiscence singletového kyslíku nemusí být vůbec patrná, i když při reakci vzniká.

### Postup:

1. Do dvojhrdlé baňky navažte **16 g**  $\text{KMnO}_4$ , na baňku nasadte přikapávací nálevku, do které odměřte **65 ml** koncentrované kyseliny chlorovodíkové. Do baňky můžete vložit rovněž teflonové míchadlo. Baňku umístěte na elektromagnetickou míchačku. Do druhého hrdla vložte zábrusový nástavec, ke kterému připojte krátký kus pryžové hadice.
2. Do druhého konce pryžové hadice zasuňte skleněnou trubičku dlouhou cca 20 cm, kterou budete zavádět chlor do směsi  $\text{NaOH}$  a  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
3. Připravte 250 g 30% roztoku  $\text{NaOH}$  ve vodě a 50 ml 30% roztoku  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
4. V kádince o objemu minimálně 600 ml smíchejte **100 ml** 30% vodného roztoku  $\text{NaOH}$  a **50 ml** 30% roztoku peroxidu vodíku. Směs pomíchejte a vložte do ní skleněnou trubičku, kterou budete do směsi zavádět  $\text{Cl}_2$
5. Z přikapávací nálevky kapejte kyselinu chlorovodíkovou na pevný manganistan draselný a vznikající chlor zavádějte do připravené směsi. Pozorujte chemiluminiscenci kyslíku.

### Poznámka:

**Veškeré experimenty s chlorem je potřeba provádět v digestoři.** Experiment nejlépe vynikne v zatemněné místnosti.

### Trautzova-Schoriginova reakce

#### Chemikálie:

Zelený čaj, roztok formaldehydu (36%), peroxid vodíku (30%), uhličitan sodný, kyselina askorbová.

#### Pomůcky:

Kádinky, vaříč, tyčinka, indikátorový pH papírek.

### Postup:

1. Do kádinky o objemu 400 ml dejte zahřát **250 ml** vody na teplotu **100 °C**. Do ohřáté vody vhodte sáček zeleného čaje, nebo můžete odvážit přibližně **2,5 g** sypaného zeleného čaje. Nechte čaj vylouhovat alespoň asi **5 minut** a po uplynutí této doby odstraňte čajový sáček, nebo v případě sypaného čaje roztok zbavte lístků filtrací, nebo dekantací.
2. Do připraveného čaje přidejte **21 ml** roztoku formaldehydu (36%) a **20 g**  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Směs nechte za stálého míchání vychladnout na teplotu laboratoře. Po vychladnutí zkontrolujte hodnotu pH směsi pomocí indikátorového papírku. Hodnota pH by neměla být nižší než 11.
3. Do dvou kádinek (objem 250 ml) odlijte asi **50 ml** připraveného roztoku a do jedné kádinky přidejte malé množství kyseliny askorbové. Přesuňte kádinky s roztoky tmavé místnosti a přidejte do každého vzorku **5 ml** 30% roztoku  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Roztoky po přidání peroxidu pečlivě pozorujte, chemiluminiscence by se měla projevit během několika sekund slabým červeným zářením (vizte obrázek), které přetrvá několik sekund.

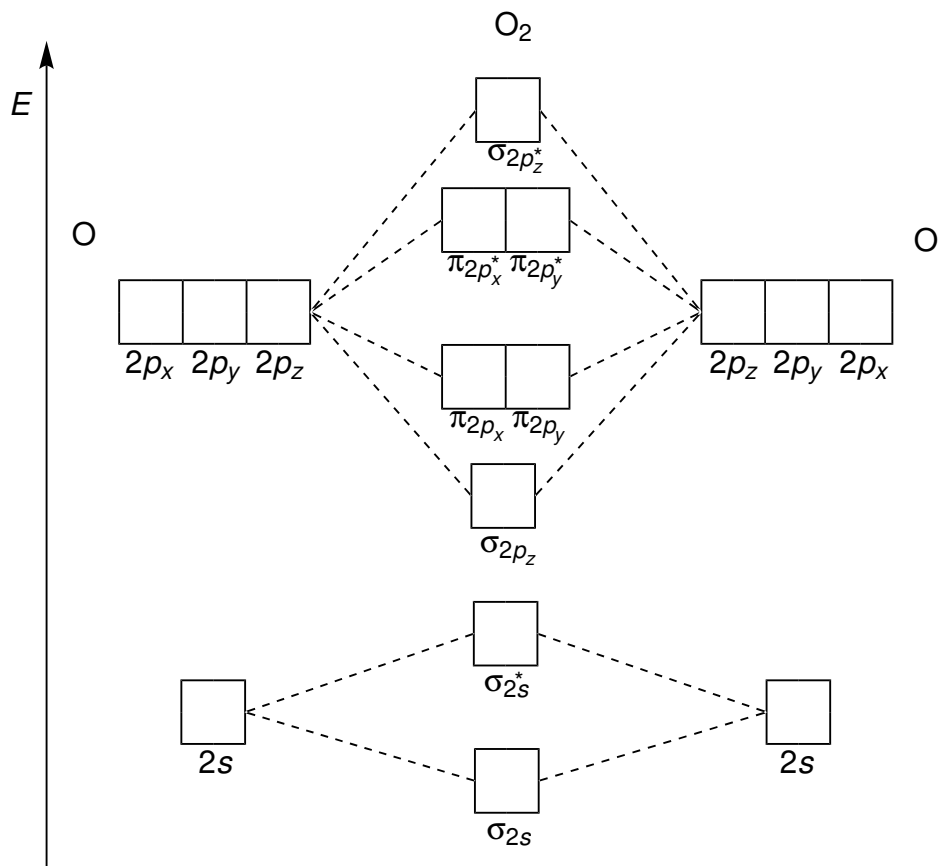
**Poznámka:**

Lepších výsledků lze v Trautzově-Schoriginově reakci dosáhnout použitím sypaného zeleného čaje oproti čajovému prachu, který je obsažen v čajových sáčkích. Pravděpodobně to souvisí s vyšším obsahem polyfenolů v sypaném čaji.

**Doplňující otázky:**

1. Existenci stabilního (tripletového) kyslíku s nespárovanou dvojicí elektronů můžeme snadno pochopit, když k popisu vazebných poměrů v molekule dikyslíku  $O_2$  použijeme molekulové orbitály, o nichž si můžeme představit, že vznikají překryvem (kombinací) orbitalů atomových. Molekulové orbitály  $O_2$  znázorňuje následující obrázek. Doplňte nejdříve valenční elektrony kyslíku do odpovídajících atomových orbitalů jednoho a druhého atomu kyslíku v levé a pravé části schématu. Následně těmito elektrony zaplňte molekulové orbitály, které vznikly kombinací atomových orbitalů. Označte rovněž orbital(y), ve kterých lze nalézt nespárované elektrony. Při obsazování se držte pravidel, která určitě znáte z hodin obecné chemie.





2. Aby toho nebylo málo, existují dva singletové kyslíky – první, který se odborně označuje jako  $^1\Delta_g$  a leží  $95 \text{ kJ mol}^{-1}$  výše nad tripletovým stavem, a druhý ( $^1\Sigma_g^+$ ), který je ještě „více excitován“, protože je bohatší o  $158 \text{ kJ mol}^{-1}$  oproti tripletovému kyslíku. Do schématu molekulových orbitalů  $\text{O}_2$  z předchozího úkolu nakreslete elektronové konfigurace (uspořádání elektronů) těchto dvou singletových kyslíků a konfiguracím správně značky  $^1\Delta_g$  a  $^1\Sigma_g^+$ .

## Stanovení obsahu vitamínu C v přírodním materiálu

### Pomůcky:

Struhadlo, lžička, plastové kelímky, filtrační papír, sítko, kapátko, váhy.

### Přírodní materiál:

Brambory, petržel, pomeranče, kiwi, jablka, banány, citrony a další přírodní materiál.

### Chemikálie:

Jodová desinfekce Betadine, tabletky vitamínu C s obsahem 100 mg vitamínu C, 1% roztok škrobu.

### Než začnete pracovat

Vzpomeňte si, co jste slyšeli nebo víte o vitamínu C. Zapište do volného prostoru pod otázkou aspoň dvě různé informace.

Vzpomeňte si, co jste slyšeli nebo víte o škrobu. Zapište do volného prostoru pod otázkou aspoň dvě různé informace.

### Test činidel

Pro dnešní badatelský počín máte k dispozici činidla uvedená výše na této stránce. Nyní se pokuste provést vzájemné reakce mezi jednotlivými činidly. Výsledky reakcí popište.

- Do roztoku roztoku škrobu přikapejte několik kapek roztoku vitamínu C:
- Do roztoku škrobu přikapejte několik kapek desinfekčního roztoku Betadine:
- Do roztoku vitamínu C přikapejte několik kapek desinfekčního roztoku Betadine:

- Do roztoku vitamínu C přidejte roztok škrobu a následně přikapávejte dezinfekční roztok Betadine, dokud nedojde k výrazné změně:

Pokuste se na základě předchozího pozorování vyslovit hypotézu, jak se chová jod k vitamínu C:

### Návrh a provedení experimentu s vitamínem C

Na základě předchozí hypotézy, jak reaguje vitamin C s jodem se pokuste navrhnout, jak byste prakticky stanovili, kolika mg vitamínu C odpovídá jedna kapka jodové desinfekce Betadine. Popište navrhovaný postup s pomůckami a činidly, které máte k dispozici:

Navrhněte experiment, kterým lze prokázat, že mezi množstvím vitamínu C ve vzorku a počtem kapek existuje přímá úměra:

Prakticky proveďte navržený experiment a stanovte, kolika mg vitamínu C odpovídá jedna kapka jodové desinfekce Betadine.

Zamyslete se, jak se vám stanovení podařilo a co byste podruhé udělali jinak.

### **Určení množství vitamínu C v přírodním materiálu**

Na základě předchozích experimentů a pozorování se pokuste navrhnout, jak by se dal stanovit obsah vitamínu C v ovoci a zelenině. Podívejte se rovněž velmi dobře na pomůcky, které máte k dispozici. Návrh vašeho postupu popište níže.

Dohodněte se ve skupině a vyberte si 2 druhy ovoce či zeleniny, ve kterých se pokusíte stanovit obsah vitamínu C za pomoci vašeho návrhu. Popište, jak experimenty proběhly a k jakým výsledkům jste došli.

Zamyslete se, jak se vám stanovení podařilo a co byste podruhé udělali jinak.

Porovnejte vaše změřené obsahy vitamínu C s průměrnými hodnotami obsahu vitamínu C v potravinách. Pokuste se vysvětlit, co by mohlo způsobit rozdíly mezi vašimi naměřenými hodnotami a průměrnými hodnotami.

## Závěr

Zformulujte závěr z dnešního laboratorního cvičení.

## Průměrné obsahy vitamínu C v ovoci a zelenině

Ovoce nebo zelenina	Obsah vitamínu C (mg / 100 g plodiny)
Zelí bílé	39
Zelí červené	51
Květák	69
Paprika červená	150
Pórek	24
Rajčata	25
Křen	120
Cibule	43
Brokolice	114
Okurka	10
Nať celeru	89
Petržel	67
Brambory	30

Ovoce nebo zelenina	Obsah vitamínu C (mg / 100 g plodiny)
Pomeranč	51
Meruňky	11
Kiwi	71
Jahody	67
Jablka	9
Grep	43
Citron	49
Banány	11
Černý rybíz	166
Červený rybíz	35
Hrozny bílé	4
Mandarinky	32
Šípky	747

**Komentář:**

Roztok škrobu v domácích podmínkách připravte smísením zarovnané kávové lžičky škrobu s cca 400 ml studené vody a následně zahřejte směs za míchání téměř k varu. Roztok škrobu pak nechte vychladnout na pokojovou teplotu.

Počet kapek roztoku dezinfekce potřebných na „ztitrování“ vitamínu C obsaženého v jedné tabletě celaskonu (100 mg) je poměrně velký. Proto je vhodné tabletku rozpustit v definovaném objemu vody, roztok důkladně promíchat a následně k titraci odebrat alikvot.

Vlivem látek přítomných v rostlinné šťávě nemusí dojít po překročení bodu ekvivalence k přechodu na typicky modré zabarvení. Přejod také nemusí být ostrý. Dojde však k výrazné barevné změně.

**Doplňující otázky:**

1. Dezinfekce Betadine je poměrně drahá. Jakým činidlem byste ji mohli nahradit?
2. Jaké je chemické složení dezinfekčního roztoku Betadine?

## Bělící složky pracích prášků

Prací prášky obsahují řadu chemických látek. Podle jejich funkce je můžeme rozdělit do následujících kategorií:

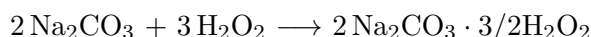
- Plnidla (nejčastěji síran sodný,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), která zaručují sypkost pracího prášku a navyšují jeho objem, což má zejména marketingový důvod.
- Změkčovače, které odstraňují tvrdost vody a zajišťují tak lepší prací účinky (uhličitan sodný, hydrogenuhličitan sodný, zeolity, případně fosforečnany).
- Bělící látky (peroxouhličitan či peroxoboritan sodný), které zajišťují bělicí účinky pracího prostředku.
- Aktivátory (nejčastěji TAED – tetraacetyلهthylendiamin), které aktivují peroxosloučeniny, dochází tak k rovnoměrnějšímu rozkladu bělidel.
- Detergenty (alkylbenzensulfonáty apod.), které odstraňují nepolární nečistoty.
- Aromata, enzymy a další látky (například optické zjasňovače).

My se v úloze budeme věnovat bělidlům na bázi peroxosloučenin, konkrétně peroxouhličitanu sodnému.

### Příprava peroxouhličitanu sodného

Peroxouhličitan sodný je látka, která v roztoku uvolňuje peroxid vodíku a vyvíjí tak tzv. aktivní kyslík, který je vlastně hlavním bělicím agens. Využívá se jí zejména v pracích a bělicích prostředcích, jejichž působení je založeno právě na bělení aktivním kyslíkem.

Správný název peroxouhličitanu sodného, který reflektuje jeho strukturu, je seskviperoxohydrát uhličitanu sodného ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3/2\text{H}_2\text{O}_2$ ). Peroxouhličitan sodný je bílá, ve vodě rozpustná látka, která se ve vodě rozkládá na své komponenty. Dá se jednoduše připravit syntézou z roztoku peroxidu vodíku a uhličitanu sodného:



### Chemikálie a materiál:

Uhličitan sodný bezvodý  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , peroxid vodíku  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30% roztok), ethanol.

### Postup:

1. Do kádinky o minimálním objemu **250 cm<sup>3</sup>** odměřte **50 cm<sup>3</sup>** destilované vody.
2. Do malé kádinky o objemu 250 cm<sup>3</sup> odvažte **10,6 g** uhličitanu sodného. Uhličitan následně za stálého míchání rozpusťte v odměřeném množství vody.
3. Do odměrného válce si opatrně (za pomoci nálevky) odměřte **16 cm<sup>3</sup>** 30% roztoku peroxidu vodíku (**Pozor! Koncentrovaný  $\text{H}_2\text{O}_2$  je žíravina, která zanechává na pokožce bolestivé bílé skvrny!**).
4. Do připraveného roztoku uhličitanu sodného v kádince opatrně vlijte peroxid vodíku a asi minutu intenzivně míchejte.

- Připravenou směs, která již obsahuje peroxouhličitan sodný, ochladte nejdříve ve vodní lázni a následně v lázni voda-led, dokud nebude mít směs v kádince teplotu ledové lázně.
- Během chlazení si sestavte aparaturu pro filtraci za sníženého tlaku. Produkt odfiltrujte na Büchnerově nálevce, promyjte cca **20 cm<sup>3</sup>** ethanolu a nechte cca **5–10 minut** pro-sávat vzduchem.
- Nakonec produkt usušte na vzduchu nebo v sušárně při teplotě **40 °C** a zvažte.

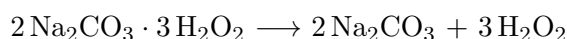
### Doplňující otázky:

- Stanovte praktický výtěžek produktu a vyjádřete jej také v procentech z teoretického výtěžku.
- Co je to tzv. aktivní kyslík a k čemu v pracích prostředcích slouží?

Látka	Vzorec	$M/(g\ mol^{-1})$	$\rho/(g\ cm^{-3})$
Peroxid vodíku	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	34,01	1,11
Uhličitan sodný	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	105,99	–
Uhličitan sodný seskviperoxohydrát	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 3/2H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	157,01	–

### Analýza připraveného peroxouhličitanu a pracích prášků

Peroxouhličitan sodný se poměrně dobře rozpouští ve vodě, v roztoku se pak pomalu rozkládá na své komponenty:

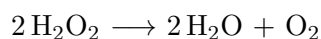


Peroxid vodíku má oxidační i redukční účinky a pomocí těchto svých účinků se dá také dokázat. Kápneme-li do roztoku, který obsahuje jodid draselný a škrob, oxiduje peroxid vodíku I<sup>-</sup> na žlutý až hnědý roztok jodu.



Jod lze v roztoku specificky dokázat tím, že tvoří s roztokem škrobu intenzivně modře zbarvený inkluzní komplex. Důkaz lze provádět v roztoku, případně pomocí jodoškrobového papírku.

Další možností, jak v produktu dokázat peroxid vodíku je jeho rozklad na kyslík pomocí oxidu manganického. Ten katalyzuje rozklad peroxidu vodíku na vodu a kyslík.



Podobně se dá peroxouhličitan sodný dokázat i v běžném pracím prášku (např. Lanza).

### Chemikálie a materiál:

Připravený peroxouhličitan sodný, prací prášek s bělicími účinky, oxid manganický MnO<sub>2</sub> pevný (burel), jodid draselný KI (10% vodný roztok), 1% roztok rozpustného škrobu ve vodě.



### Postup:

1. Připravte roztok přibližně 1 g vámi připraveného peroxouhličitanu sodného ve 20 cm<sup>3</sup> demineralizované vody. Analogicky rozpusťte asi 1 g pracího prášku ve 20 cm<sup>3</sup> demineralizované vody.
2. Do tří zkumavek nalijte několik mililitrů roztoku škrobu a přibližně 1 ml 10% roztoku KI. K roztoku v první zkumavce přidejte několik kapek roztoku pracího prášku, do druhé roztok peroxouhličitanu sodného a do poslední přidejte několik kapek demineralizované vody. Roztoky ve zkumavce promíchejte a pozorujte barevnou změnu.
3. Ke vzorku roztoku pracího prášku, peroxouhličitanu a do čisté vody ve zkumavce přidejte špetku pevného MnO<sub>2</sub>. Roztok ve zkumavce promíchejte a pozorujte nastalou změnu.

### Komentář:

Do pracích prášku se také přidávají tzv. optické zjasňovače. Jedná se o látky, které absorbují UV složku slunečního záření a následně modře fluoreskují. Díky tomuto efektu se prádlo jeví bělejší. Pokud máme k dispozici UV lampu emitující měkké ultrafialové záření (zkoušecí pravosti bankovek, UV lampa používaná k iniciaci gelových nehtů), lze pozorovat fluorescenci optických zjasňovačů obsažených ve vzorku pracího prášku. Fluorescenci také můžeme pozorovat na bílém oblečení, které bylo nedávno vypráno.

### Doplňující otázky:

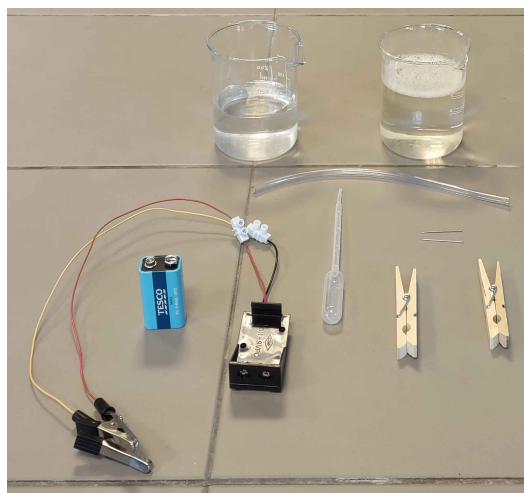
1. Je odbarvení roztoku roztoku manganistanu draselného v kyselém prostředí specifickým důkazem peroxidu vodíku? Pokud není, uveďte látky, které by tuto reakci mohly také poskytnout.
2. Jak byste prokázali, že rozkladem peroxidu vodíku za katalýzy oxidem manganičitým vzniká kyslík?
3. Navrhněte, jakým způsobem byste mohli kvantitativně stanovit obsah peroxidu vodíku ve vámi připraveném produktu?

## Elektrolýza v pipetě

Následující experiment s elektrolýzou vodného roztoku NaCl pomocí železných elektrod je nenáročný na vybavení, lze jej provést v učebně a zručnější žáci si jej mohou provést sami. Elektrolýzou se uvolňuje vodík, který lze zapálit. Množství vodíku je však tak malé, že nehrozí nebezpečí úrazu.

### Pomůcky:

Dvě kádinky nebo kelímky, dražák na baterii a baterie (ideální je 9 V), dvě krokosvorky s vodiči, plastová Pasteurova pipeta, dva kolíčky na prádlo, dva špendlíky, PVC hadička (průměr cca 4 mm).



**Chemikálie:**

Chlorid sodný (kuchyňská sůl), saponát na mytí nádobí.

**Postup:**

1. Připravíme koncentrovaný roztok NaCl ve vodě a roztok saponátu ve vodě.
2. Plastovou pipetu naplníme roztokem NaCl ve vodě.



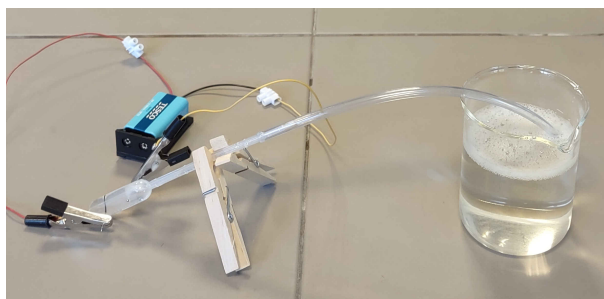
3. Pipetu propíchneme dvěma špendlíky cca 1 cm od sebe. Špendlíky by se neměly dotýkat.



- Na konec pipety nasadíme přibližně 20 cm dlouhý kousek kousek PVC hadice. Ze dvou kolíků na prádlo pak setrojíme stojan. Pipetu a stojan upravíme tak, aby konec hadičky zasahoval pod hladinu roztoku saponátu v kádince nebo kelímku.



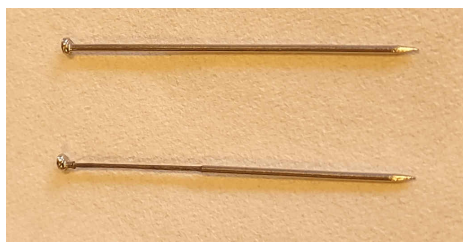
- Na špendlíky připojíme pomocí krokosvorek zdroj napětí. Je vhodné, aby horní elektroda byla katoda a níže byla anoda. V pipetě se začnou uvolňovat bubliny plynu. Plyn hadičkou postupuje do roztoku saponátu a začne vytvářet pěnu.



- Necháme elektrolýzu probíhat cca 3 minuty, než uvolněný vodík vytlačí zbyteky vzduchu z trubičky a hadičky. Následně můžeme zkusit vodík nahromážděný v pění zapálit hořící špejlí nebo zápalkou. Bubliny slabě štěknou. Uvolněná energie je natolik malá, že však nehrozí popálení žáků.
- V pipetě můžeme pozorovat, že na katodě se vyvíjí plyn, kdežto kolem anody se tvoří nažloutlý roztok, který stykem s horní částí náplně pipety tvoří šedo-zelenou sraženinu.



8. Na konci experimentu vytýhneme z pipety oba špendlíky, opláchneme je a pozorujeme. Katoda je téměř by měla být téměř nezměněná, anoda se však během elektrolýzy roztoku rozpouštěla.



### Poznámka:

Součásti aparatury k tomuto experimentu lze zakoupit v obchodech s elektromateriálem a hobbymarketu (plastová hadice). Následující tabulka shrnuje cenu materiálu pro jednu aparaturu.

Součástka	Cena
Krokosvorka (2 ks)	9,22 Kč
Držák baterie	9,11 Kč
Dvě svorky z lámací svorkovnice (14 Kč/12 svorek)	2,33 Kč
20 cm PVC hadice o průměru 4 mm, tloušťka stěny 1 mm (25 Kč/m)	5,00 Kč
Dva kolíčky na prádlo (45 Kč/24 ks)	3,75 Kč
Plastová Pasteurova pipeta (330,33 Kč/500 ks)	0,66 Kč

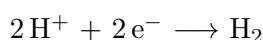
**Celkem 30,07 Kč**

### Doplňující otázky:

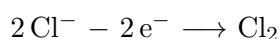
1. Chemickými rovnicemi запиšte děje, které se odehrávají při elektrolýze vodného roztoku NaCl na železné katodě a anodě. Co je produktem rozpouštění anody?
2. Vysvětlete vznik žlutě zbarveného roztoku v prostoru anody a také vznik šedo-zelené sraženiny.

## Jednoduchá elektrolýza roztoku NaCl na grafitových elektrodách

Elektrolýzu vodného roztoku NaCl na grafitových elektrodách lze jednoduše uskutečnit s využitím dvou tužek, 9V baterie a kousku vlnité lepenky. Experiment vyžaduje minimum vybavení, je rychlý a také je poměrně bezpečný. Při elektrolýze tohoto roztoku dochází na záporně nabitých elektrodě k redukci  $H^+$  na molekulu  $H_2$ :



Na kladně nabitých elektrodě dochází k oxidaci chloridových anionů za vývoje  $Cl_2$ :

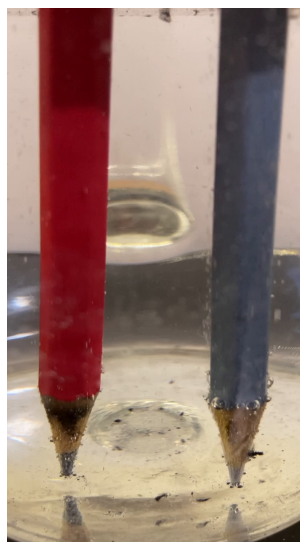
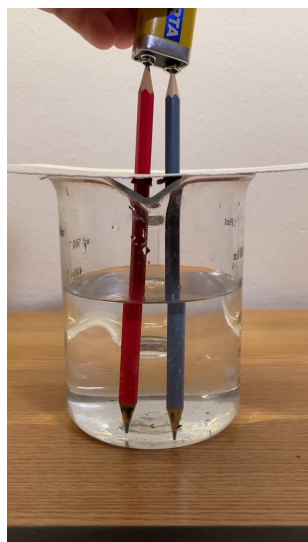


### Chemikálie a materiál:

NaCl, dvě grafitové tužky, baterie 9V, kus vlnité lepenky.

### Postup:

- Tužky ořežeme na obou koncích. Obě tužky by měly být přibližně stejně dlouhé.
- Do kusu kartonu uděláme dvě díry ve vzdálenosti přibližně 1,3 cm. Otvory by měly mít menší průměr, než je vnější průměr tužky. Jednu i druhou tužku otvory prostrčíme.
- Do nádoby (kádinka, sklenice) nalijeme koncentrovaný nebo nasycený roztok NaCl ve vodě. Na sklenici položíme kus lepenky a nastavíme výšku špiček tužek tak, aby zasahovaly do roztoku a byly ve stejné výšce.
- Póly 9V baterie se dotkneme grafitových špiček tužek nad hladinou. Ihned pozorujeme vznik bublinek plynu na jedné i druhé elektrodě.
- Chlor vznikající při elektrolýze lze prokázat i po krátké době elektrolýzy na základě jeho charakteristického zápachu, případně jej lze prokázat pomocí navlhčeného jodoškrobového papírku, který vložíme do prostoru pod lepenkou (případně do roztoku).



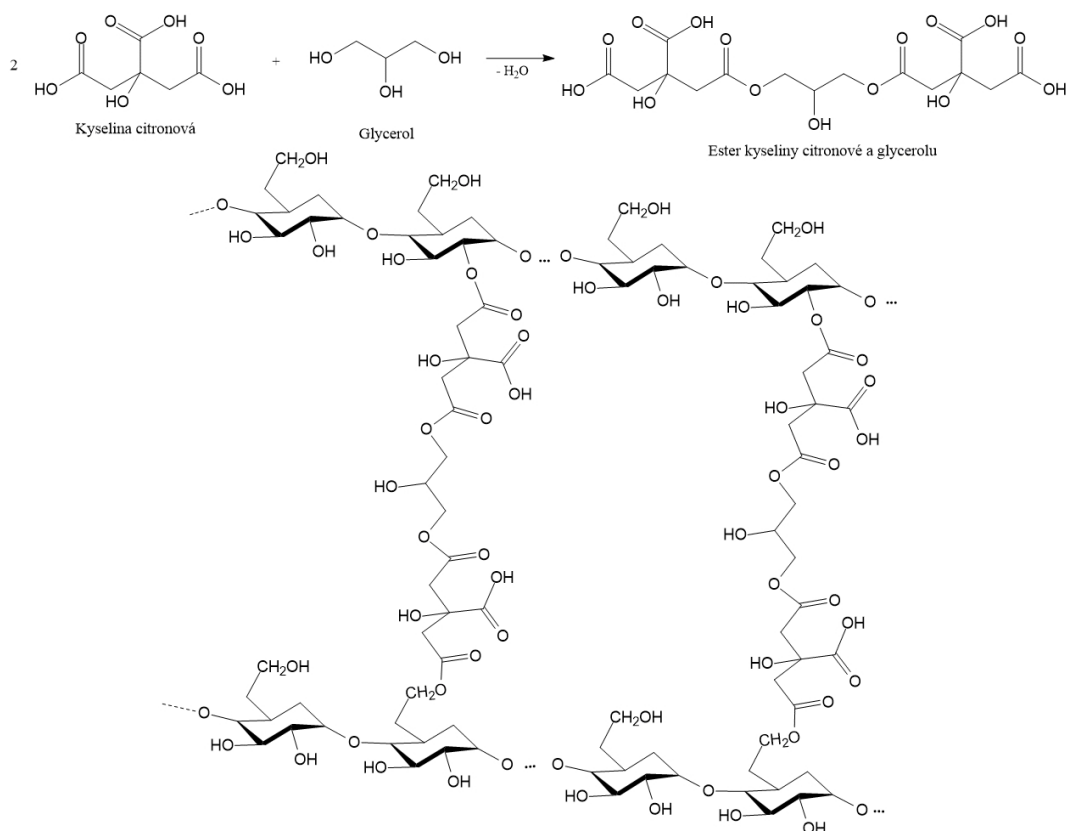
### Doplňující otázky:

1. Uveďte, jak byste definovali anodu a katodu.
2. Jaké je znaménko náboje katody v elektrochemickém článku a při elektrolýze vnějším zdrojem napětí?

## Biodegradabilní plasty

I přes všeobecnou prospěšnost plastů vyráběných z ropy jsou v poslední době důsledky jejich produkce čím dál více patrné, příkladem může být velká pacifická skvrna z většiny vytvořená právě plasty. Mnoho států se snaží předcházet znečištění prostředí plasty a snižují produkci především jednorázových plastů již u zdroje. Důležité je také zamezit úniku plastů do prostředí a správně nakládat s plastovým odpadem. V tomto směru má ekonomický i environmentální smysl post-konzumní recyklace (Andrady, 2009; Andrady, 2015, s. 299; Alabi et al., 2019, Thompson et al., 2009).

V poslední době se zvýšil zájem o polymery vyrobené z obnovitelných zdrojů, tzv. bio-plasty a také materiály které jsou biodegradabilní, jsou citlivé na enzymatické působení dekompozičních organismů. Tato tendence je částečně v souladu s konceptem molekulárního redesignu zelené chemie a jedná se o cestu vedoucí k cirkulární ekonomice využívající odpad jako vstupní surovinu další výroby nebo jako zdroj energie (Shogren et al., 2019). Jednou z možností získávání bio-plastů je proto využití přírodních polymerů, které se chemicky nebo fyzikálně dále upravují s cílem zlepšit nebo významně upravit jejich přirozené vlastnosti (Gandini, & Lacerda, 2015; Kalia, Raizada, & Sonakya, 2000).



**Obr. 21:** Škrob zesítovaný pomocí glycerolu a kyseliny citronové (vytvořeno dle Seligra et al. 2016).

Jednou z využívaných surovin pro výrobu široké škály biomateriálů je snadno dostupný polysacharid, škrob. U škrobu se využívá struktury jeho dvou hlavních složek amylopektinu a amylosy. Tyto polysacharidy nesou hydroxylové skupiny, které umožňují tvorbu vodíkových vazeb a tím vznik základní matrice. Její vznik může být podpořen přidáním zesítujících látek. Příkladem takové látky je kyselina citronová. V případě, že se k ní přidá glycerol vzniká nejdříve ester kyseliny citronové a glycerolu, který pak reaguje s -OH skupinami polysacharidů, čímž

dochází k zesíťování a vylepšení vlastností výsledného materiálu, viz obrázek 28 (Seligra et al., 2016). Další cestou, jak upravit některé vlastnosti škrobových plastů je přidáním organických nebo anorganických plnidel, které zlepšují např. odolnost proti vodě, mechanickou odolnost, pevnost v tahu aj. (Jiménez et al., 2012; Özdamar & Ates, 2018).

Dalším zajímavým polysacharidem je alginát. Je součástí buněčných stěn hnědých řas a jeho základními stavebními jednotkami jsou  $\alpha$ -D-mannuronát (M) a  $\beta$ -L-guluronát (G), které jsou vzájemně spojovány 1→4 glykosidickou vazbou a společně se podílí na stavbě řetězce. Alginát má schopnost reagovat s polyvalentními kovovými kationty, především kationtem vápenatým, za vzniku málo rozpustných polymerů. Ty jsou netoxické, biodegradabilní a biokompatibilní a vyrábí se z něj např. folie (Tavassoli-Kafrani, Shekarchizadeh, & Masoudpour-Behabadi, 2015).

## Alginátové špagety

### Chemikálie a materiál:

2% vodný roztok alginátu sodného, 10% vodný roztok NaCl, 10% vodný roztok CaCl<sub>2</sub> a 20% vodný roztok Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

### Pomůcky:

Čtyři kádinky (50 ml), skleněná tyčinka, pipeta, lžice a odměrný válec.

### Postup:

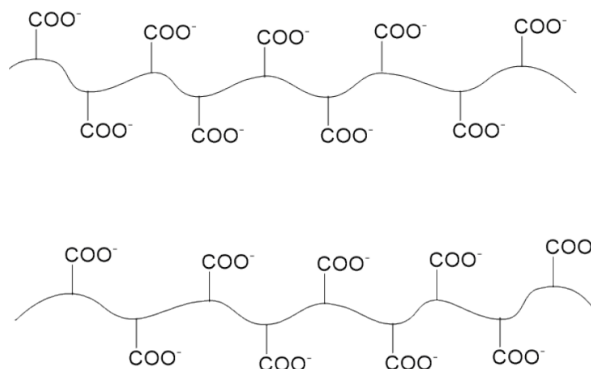
- Do kádinek si připravte potřebné roztoky.
- Odměřte 10 ml roztoku alginátu a nalijte ho do roztoku NaCl.
- Stejný postup opakujte s CaCl<sub>2</sub>.
- V jednom případě vznikají alginátové „špagety“, pinzetou je vyjměte a přeneste je do roztoku Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Pozorujte a запиšte co se děje. Vysvětlete to.
- V průběhu celého pokusu pozorujte změny a запиšte je.



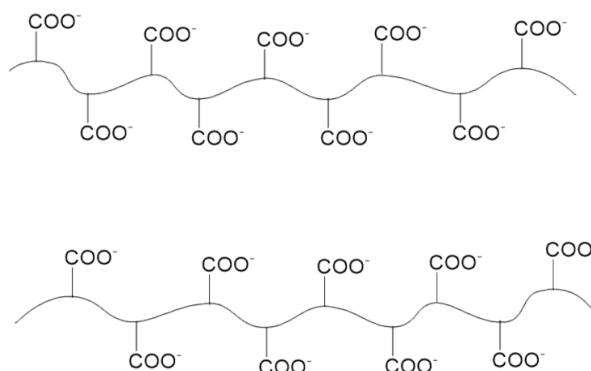
### Doplňující otázky:

1. Navrhněte vysvětlení pozorovaného chování alginátu v NaCl a CaCl<sub>2</sub>. Při vysvětlení použijte následující schéma, do kterého doplňte příslušné ionty.

Alginát v NaCl:



Alginát v CaCl<sub>2</sub>:



### Plast ze škrobu

#### Chemikálie a materiál:

Škrob, kyselina citronová, glycerol, suchý kávový lógr.

#### Pomůcky:

Kádinka (400 ml), skleněná tyčinka, odměrný válec, Petriho misky (nebo lépe nádoba s teflonovým povrchem), váhy, vařič nebo kahan s varným kruhem a azbestovou sítkou

#### Postup:

- Smíchejte v kádince **3 g** škrobu a 57 ml vody.
- Do této směsi přidejte cca **1,8 g** glycerolu a **0,3 g** kyseliny citronové.
- Směs za stálého míchání zahřívejte (kahanem nebo na vařiči). Pozor na možné připečení směsi na dno. V případě použití kahanu si dejte pozor na možnost vznícení rukávu laboratorního pláště.



- V okamžiku, kdy směs začne vřít, zastavte zahřívání a nalijte ji do Petriho misky (nebo lépe nádoby s teflonovým povrchem) ve vrstvě asi 1 cm.
- Směs v Petriho miskách nechte do příští hodiny vyschnout, při cca **50 °C** (na topení).
- V případě zájmu můžete také prozkoumat vliv poměru vstupních komponent na vlastnosti vzniklého produktu. Postup opakujte se stejným množstvím škrobu a vody, ale rozlišným množstvím glycerolu a kyseliny citronové, případně připravte roztok pouze ze škrobu a vody, případně do směsi přidejte kávový lógr. Přidané množství přídavných látek si zapisujte a jednotlivé verze, nalité na Petriho misky, pečlivě označte.
- Zapište si změny, které jste pozorovali při zahřívání směsí.
- Nechte vyschnout a poté jednotlivé vzorky mezi sebou porovnejte.
- Namočte je do teplé vody, zkuste je roztrhnout, porovnejte je s jinými, na ropě založenými plasty.

## Třpytivé žížaly z pektinu

Tento hravý pokus ocení hlavně děti. Potravinářská surovina jménem pektin se vám před očima změní z rozpuštěné látky na gel. Stačí k tomu roztok kyseliny citronové a trochu třpytek pro obarvení.

S pektinem jste se už jistě potkali, dokonce jste ho nejspíš i jedli. Pektin získávaný z citrusových plodů nebo jablek se totiž **přidává do džemů**, aby lépe tuhly. V přírodě je nesmírně důležitý jako jedna z hlavních složek, které tvoří **stěny rostlinných buněk**.

Chemicky je pektin směs několika složitých polysacharidů, jejichž řetězce jsou poskládané z různých jednoduchých cukrů. Zajímavé je, že roztok pektinu ve vodě můžeme snadno změnit na tuhou hmotu – takzvaný **gel**. V kyselém prostředí se změní chemické vlastnosti molekul pektinu a z roztoku vznikne pevný gel. Ten je nejdřív poměrně měkký, ale postupně tuhne.

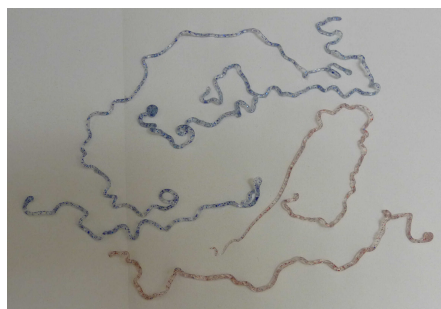
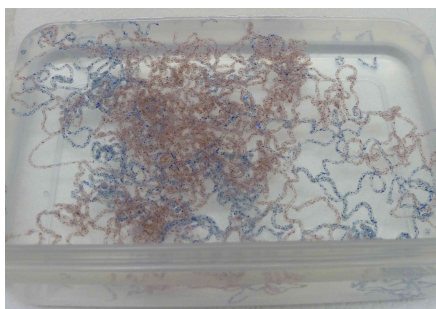
### Chemikálie a materiál:

Čistý pektin (například jablečný nebo citrusový), kyselina citronová, barevné třpytky (glitry) několika barev.

### Postup:

- Do jedné větší nádoby nalijte teplou vodu (objem záleží na vás, pro jeden experiment dostačuje cca 100 ml). Za stálého míchání lžící rozmíchejte ve vodě pektin, a to v množství 6 gramů na 100 ml vody.
- Pektin nejspíš vytvoří žmolky, které se ale po delší době rozpustí. Nechte proto nádobu stát alespoň 2–3 hodiny při pokojové teplotě a její obsah čas od času důkladně zamíchejte lžící. Pektin se dokonale rozpustí a vytvoří viskózní roztok bez žmolků.
- Takto připravený roztok pektinu můžete obarvit. Rozlijte ho do několika menších nádobek, přisypte do nich barevné třpytky a důkladně je zamíchejte do pektinu.
- Do druhé větší nádoby si připravte 10% roztok kyseliny citronové (tzn. 10 gramů kyseliny citronové na 90 ml vody). Dejte pozor, aby se vám roztok nedostal do očí!

- Roztok pektinu kapejte Pasteurovou pipetou či kapátkem nebo pomalu lijte z malé nádoby do 10% roztoku kyseliny citronové. Pipetu nebo kapátko musíte držet nad hladinou, nesmíte je ponořit do roztoku kyseliny – to by vám v nich pektin zatuhl. Pokud nemáte k dispozici kapátko, lze se inspirovat zdobením vánočních perníčků. Suspenzi třpytek lze přelit do mikrotenového sáčku na svačinu a pak ustříhnout roh sáčku. Při zatlačení suspenze do tohoto rohu začne směs vytékat tenkým proudem. Když budete roztok pektinu kapat po jednotlivých kapkách, ztuhne na drobné čokovité útvary. Pokud ho budete lít souvislým proudem, dokážete vyrobit i „žížaly“.



**Obrázek č. 29:** Třpytivé žížaly vzniklé zgelovatěním roztoku pektinu v roztoku kyseliny citronové.

#### Komentář:

Použijte dostatečně jemné třpytky. Příliš velké by vám ucply ústí pipety nebo kapátka, případně by směs s nimi nešla vůbec nasát.

Některé druhy třpytek můžou poškrábat sklo. Použijte proto na směsi pektinu se třpytkami nádoby, u kterých vám nebude vadit, že se poškrábou (například plastové kelímky nebo staré zavařovací sklenice místo krásných nových kádinek).

Třpytky mají sklon už po několika minutách buď klesat ke dnu nádoby s roztokem pektinu, nebo naopak stoupat ke hladině. Směs proto musíte často a důkladně míchat.

Pektin přechází z roztoku na gel nejen okyselením, ale také reakcí s vápenatými ionty. Podobného výsledku proto dosáhnete, když budete roztok pektinu kapat do 2,5% roztoku laktátu vápenatého (2,5 gramu na cca 100 ml vody) nebo jiné vápenaté soli. Výsledný gel bude dokonce o něco tužší a odolnější. Laktát vápenatý se používá jako přísada do potravin. Prodávají ho některé e-shopy s potravinářskými surovinami. Rozpustné vápenaté soli prodává také firma Fichema <https://fichema.cz/>.

#### Doplňující otázky:

1. Zjistěte, které monosacharidy jsou dominantními složkami pektinu a napište jejich Haworthovy nebo perspektivní vzorce.
2. Ke zgelovatění roztoku pektinu dochází zvláště dobře v kyselém prostředí v přítomnosti monosacharidů. Pokuste se navrhnout vysvětlení tohoto procesu pomocí chemických reakcí.
3. Ke geloatění pektinu dochází i v přítomnosti vápenatých iontů. Opět navrhněte chemické vysvětlení.
4. Při kvašení ovoce pro výrobu pálenky dochází ke vzniku volného methanolu z pektinu, který je v ovoci přítomný. Uveďte, jakou chemickou reakcí methanol v kvasu z pektinu vzniká.

## Zkoumání fyzikálně-chemických vlastností syntetických polymerů

Značnou překážkou v recyklaci plastového odpadu jsou často velmi podobné vlastnosti různých druhů polymerů, což výrazně znesnadňuje oddělení jednotlivých plastů ze směsi. Jednou z možných cest je dělení plastů na základě jejich rozdílné hustoty.

V tomto cvičení si vyzkoušíme rozlišení různých polymerních materiálů na základě hustoty, jednoduchého testu na přítomnost chloru (Beilsteinova zkouška) a rozpustnosti v acetonu.

### Chemikálie a materiál:

Vzorky plastů (HDPE, LDPE, PP, PET, nepěněný PS, PVC, nylon, PLA, PMMA), aceton, ethanol, NaCl, měděný drátek, kahan.

### Postup:

1. Do tří kádinek o objemu 250 ml si připravíme tyto kapaliny:
  - (a) Směs vody a ethanolu vzniklou smísením stejných objemů vody a denaturovaného ethanolu. Směs obsahuje 44,2 hmotnostních procent ethanolu a má hustotu  $0,926 \text{ g cm}^{-3}$ .
  - (b) Destilovanou vodu. Za teploty  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  má voda hustotu  $0,998 \text{ g cm}^{-3}$ .
  - (c) Vodný 24% roztok NaCl. Tento roztok má hustotu  $1,178 \text{ g cm}^{-3}$ .
2. Do kádinek s kapalinami vložíme posupně vzorky plastů. Poznamenáme si, zda vzorek v kapalině plaval, nebo klesl ke dnu.
3. Měděný drátek nažhavíme v plameni kahanu. Nažhaveným drátkem postupně nabíráme vzorky plastických hmot. Drátek se vzorkem plastické hmoty opět vložíme do plamene a pozorujeme změny barvy plamene. Pokud je v polymeru vázán chlor (např. v PVC), zbarví se plamen zeleně.

Pozn. některé plasty obsahují bromované látky, které působí jako zpomalovače hoření, plamen se tedy může zbarvit modrozeleně.
4. Rozpouštění v acetonu: Do poloviny kádinky o objemu 100 ml nalijeme aceton. Do kádinky postupně vkládáme vzorky plastických hmot, které v acetonu necháme cca 10 min. Pokud během této doby dojde k rozkladu či deformaci plastu, jedná se o polystyren. Z uvedených polymerů se v acetonu rozpouští i poly(methyl-methakrylát), efekt se ale projeví po několika hodinách.

### Fyzikálně-chemické charakteristiky látek:

Polymer (zkratka)	$\rho / (\text{g cm}^{-3})$
Polypropylen (PP)	0,895–0,920
Nízkohustotní polyethylen (LDPE)	0,917–0,930
Vysokohustotní polyethylen (HDPE)	0,930–0,970
Polystyren (PS)	0,96–1,05
Nylon 6	1,084
Nylon 66	1,140
Poly(methyl-methakrylát) (PMMA)	1,12–1,17
Polyvinylchlorid (PVC)	1,1–1,45
Poly(laktát) (PLA)	1,210–1,430
Polyethylentereftalát (PET)	1,300–1,400

### Doplňující otázky:

1. Svá pozorování shrňte ve formě tabulky:

Vzorek	Plování v kapalině			Rozpustnost v acetonu	Druh polymeru
	EtOH + H <sub>2</sub> O	Dest. H <sub>2</sub> O	Roztok NaCl		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

2. Výrobky z plastů jsou označovány recyklačními značkami, které umožňují jednoduše identifikovat materiál, ze kterého je předmět vyroben. Do tabulky doplňte názvy polymerů, které se skrývají pod uvedenými značkami a doplňte také alespoň jeden předmět, který tento druh plastu obsahuje a máte jej v domácnosti, případně jste jej někdy používali.

Recyklační značka	Název polymeru	Příklad předmětu
		
		
		
		
		
		

## Obří bubliny

Jen málo pokusů fascinuje malé děti, a nejen je, jako tvorba a chytání bublin. Tohoto faktu často využívají právě výrobci bublifukových směsí a jejichž cena je poměrně vysoká. Na internetu lze najít mnoho různých návodů. Většina z nich obsahuje mimo jiné destilovanou vodu a glycerin tedy chemikálie, které většinou doma nemáme, a navíc se tyto směsi musejí vařit. Návod, který zde bude představen, je poměrně jednodušší a směs se dá vyrobit rychle a ze surovin, které najdeme v každé domácnosti.

Bublifuk využívá sníženého povrchového napětí u roztoku saponátu a proudu vzduchu. Díky menšímu povrchovému napětí se mezi provázky fukaru utvoří membrána, která se poté naplní vzduchem. Vzduch membránu deformuje a ta vytváří protáhlý tvar. Jelikož chce každé těleso dosáhnout tvaru s nejnižší energií, začne se bublina deformovat do tvaru koule.

### Pomůcky:

Lavor nebo velká miska, dřevěné tyčky, provázek, plastový kroužek.

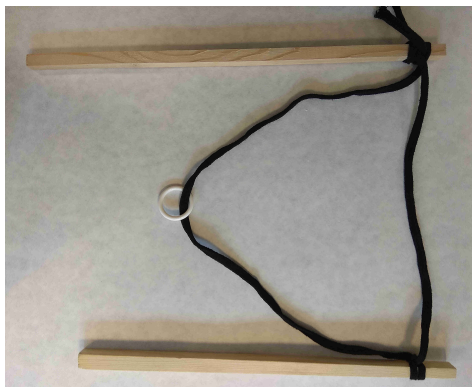
### Chemikálie a suroviny:

Voda, saponát, kukuřičný nebo bramborový škrob a prášek do pečiva.

### Postup:

- Směs na bublifuk připravte smícháním 12 hrnků vody s hrnkem saponátu, hrnkem škrobu a dvěma prášky do pečiva. Vzniklou směs pořádně promíchejte.

- Fukar vyrobte tak, že dvě tyčky (dostačující klacky) svažte provázkem, aby v horní části byla 1/3 jeho délky a zbytek provázku prověšen pod ní. Do této části se navlékněte ještě kroužek jako závaží, viz obrázek 12. Délku tkaničky volte minimálně 1,5 m, čím delší bude, tím větší lze dělat bubliny.



**Obrázek 30:** Fukar.

- Bubliny tvořte, tak že fukar namočíte do připravené směsi, opatrně vytáhnete tak, abyste neporušili membránu a dlouhým plynulým pohybem „nabírejte do bubliny vzduch“. Pokud je bublina velmi dlouhá, lze ji uzavřít, tak že pomocí překřížení rukou překřížíte provázky fukaru a tím bublinu jakoby odříznete.

### **Komentář:**

- Saponát by neměl obsahovat balzámy které zabraňují vysoušení pokožky. Obecně lze říct, že čím levnější tím lepší.
- Místo lavoru lze použít velkou misku, nebo fotografickou misku, kbelík není vhodný, při vytahování často děti zavadí o okraj a membrána praskne.
- Jako provázek doporučujeme oděvní šňůru, kterou lze koupit v galanterii (bavlněnou či polyesterovou, kulatou či plochou – pokus probíhal vždy podobně). Naopak nedoporučujeme vlnu (příliš nasávala směs, která pak velmi odkapávala na zem) a paracord (ten naopak směs nasával velmi málo), s těmito pokusy moc nefungoval a bubliny praskaly.
- Na připevnění provázků k tyčce se nám osvědčil lodní uzel, neklouže i když se namočí.
- Rozměr fukaru není jednoznačně daný, lze ho zvětšit a budou vznikat větší bubliny. Odzkoušeli jsme 34 cm dlouhé tyčky a 90 cm dlouhý špagát (zkrácený uzly z původní délky 1,5 m), ještě větší bubliny se dařily s 58 cm dlouhými tyčkami a 1,2 m provázkem.
- Jako kroužek byl použit kroužek na závěsy o průměru 25 mm (menší fukar, případně 35 mm větší fukar).

## Snímání otisků prstů z předmětu pomocí prášku

Otisky prstů na skle nebo glazované keramice mohou být vizualizovány pomocí jemného prášku (v praxi se používá železný prach nebo oxid železitý). Zviditelněný otisk pak lze sejmout pomocí lepicí pásky, která se následně nalepí na bílý papír.

### Chemikálie a materiál:

Jemně práškový oxid železitý, hliník, železo nebo grafit.

### Postup:

- Hladký skleněný nebo glazovaný povrch setřete hadříkem, ideálně navlhčeným alkoholem. Dotkněte se povrchu následně prsty.
- Pomocí štětce naneste na stopu jemný prášek. Je možné poklepat štětcem s práškem nad stopu, případně lze stopu jemně štětcem přetřít.
- Přebytkový prášek odfoukněte. Viditelnou stopu přelepte průhlednou lepicí páskou tak, aby dokonale přilnula k povrchu. Lepicí pásku opatrně sejměte a nalepte na bílý papír.



## Výroba šumivé koule do koupele

### Chemikálie a materiál:

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (Epsomská nebo také hořká sůl), kyselina citronová,  $\text{NaHCO}_3$  (jedlá soda), vonná esence, potravinářské barvivo.

### Pomůcky:

Vhodné formičky (kinder vajíčko...), kádinky o objemu 150 ml a 25 ml, tyčinka, třecí miska s tloučkem a Pasteurova pipeta.

### Postup:

- Navažte 15 g kyseliny citronové, 15 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  a 30 g  $\text{NaHCO}_3$ . Látky smíchejte v čisté suché kádince o objemu 150 ml, nebo lépe v třecí misce s tloučkem.
- Ke směsi přidejte potravinářské barvivo a případně i několik kapek vonné silice. Směs zamíchejte.
- Do malé kádinky naberte asi 10 ml vody.

- S využitím Pasteurovy pipety přidejte ke směsi asi **5–10 kapek** vody. **Po přidavku každé kapky vody směs důkladně promíchejte.**
- Směs by s přidavkem vody a mícháním měla začít lepit.
- Směs namačkejte do formičky. Pokud je směs stále příliš suchá, přidejte několik kapek a směs promíchejte.
- Nechte formičku se směsí stát asi 10 minut.
- Masu z formičky vyklopte a nechte vyschnout.

### Poznámka:

Pokud do směsi solí přidáme malé množství vody, získáme sypkou směs, která nebude držet tvar. Přídavek příliš velkého množství vody způsobí nezpomalující reakci hydrogenuhličitanu sodného s kyselinou citronovou, následkem čehož směs nekontrolovaně kyne. Ideálně hydratovaná směs slabě lepí a po promíchání můžeme pozorovat zajímavý efekt, kdy krystaly mění svůj tvar, což působí jako tající sníh. Pokud není směs dostatečně dobře promíchaná, objevují se na vylisované hmotě puchýře.



### Doplňující otázky:

1. Odhadněte, jaký objem oxidu uhličitého se uvolní při rozpouštění koule, která obsahuje celou hmotu solí uvedenou v návodu, ve vodě. Předpokládejte, že reakce nastává při teplotě 25 °C a tlaku 101,325 kPa.

## Demonstrace závislosti rychlosti chemické reakce na teplotě

Rychlost naprosté většiny chemických reakcí se s rostoucí teplotou zvyšuje. Závislost rychlostní konstanty reakce na teplotě může být například popsána pomocí empirické Arrheniovy rovnice:

$$k = A \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$$

kde  $k$  je rychlostní konstanta reakce,  $A$  preexponenciální faktor,  $E_a$  je aktivační energie reakce,  $T$  je absolutní teplota a  $R$  zastupuje molární (univerzální) plynovou konstantu ( $R \doteq 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ).

Vliv teploty na rychlost reakce mezi kyselinou citronovou a hydrogenuhličitanem sodným můžeme demonstrovat na čase, za který se námi vytvořené šumivé koule nebo tabletky rozpustí ve vodě o různé teplotě. Podmínkou však je, aby šumivé koule obsahovaly stejné množství materiálu. K experimentu můžeme rovněž využít komerčně dostupné šumivé tablety.



### **Chemikálie a materiál:**

Šumivé tablety (komerční nebo domácí výroby) a voda o různé teplotě (0 až 45 °C).

### **Pomůcky:**

Kádinky o objemu minimálně 500 ml, teploměr a stopky.

### **Kvalitativní demonstrace**

#### **Postup:**

- Připravte si dvě kádinky o objemu 500 ml a do každé nalijte 250 ml vody o jiné teplotě.
- Do každé z kádinek současně vhodte šumivou tabletu a pozorujte intenzitu šumění a čas, za který se tableta rozpustí.

### **Stanovení aktivačních parametrů reakce**

#### **Postup:**

- Připravte si alespoň čtyři šumivé tablety stejného druhu.
- Připravte si kádinky o objemu 400 nebo 600 ml.
- Do vhodné nádoby (např. PET lahev) nalijte asi 1 litr vody a vychladte jej v lednici nebo ledové lázni.
- V rychlovarné konvici nebo na plotně ohřejte asi půl litru vody.
- V kádince smíchejte teplou a studenou vodu tak, abyste získali vodu o výsledné teplotě v rozmezí 0 až 45 °C. Vodu důkladně promíchejte, změřte její teplotu a změřenou teplotu si poznačte do tabulky 1.
- Vhodte vždy právě jednu šumivou tabletu do sklenice a spusťte stopky. Zaznamenejte následně čas, kdy reakce tablety ve vodě odezní. Protože je obtížné rozeznat okamžik úplného rozpuštění tablety, stanovte si kritérium, kdy měření času zastavíte, např. když reakcí vznikne zbytek o průměru 0,5 cm, tableta vyplave k hladině apod. Čas  $t$  potřebný pro rozpuštění tablety запиšte do tabulky 1 níže.
- Pro nové měření si do sklenice připravte novou vodu o odlišné teplotě. Pro jinou cílovou teplotu zvolte jiný poměr teplé a studené vody. Teploty by měly v ideálním případě pokrývat rovnoměrně interval 0 až 45 °C. Ve sklenici zopakujte experiment s rozpouštěním šumivé tablety.
- Experiment zopakujte ještě minimálně dvakrát, abyste získali alespoň čtyři datové body.

**Tabulka 1**

Teplota vody /°C	Čas do rozpuštění tablety/s

Do tabulky 2 doplňte údaje, které získáte přepočtem naměřených hodnot. Teplotu vody přepočtete na termodynamickou teplotu a následně vypočítejte převrácenou hodnotu této teploty. Rychlostní konstantu rozpouštění tablety  $k$  vypočtete jako:

$$k = \frac{1}{t}$$

Poslední sloupec tabulky má obsahovat přirozený logaritmus  $k$ .

**Tabulka 2**

$T/K$	$(1/T)/K^{-1}$	$k/s^{-1}$	$\ln(k \cdot s)$

**Doplňující otázky:**

1. Pokuste se z naměřených hodnot vypočítat aktivační energii  $E_a$  a preexponenciální faktor  $A$  pro rozpouštění šumivé tablety ve vodě. Pro vyhodnocení použijte upravenou rovnici pro závislost rychlostní konstanty na čase:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T}$$

Do grafu vynesete závislost přirozeného logaritmu rychlostní konstanty ( $\ln k \cdot s$ ) na  $1/T$ . Body proložte přímkou a ze směrnice přímky a jejího průsečíku s osou  $y$  vypočítejte aktivační energii  $E_a$  a preexponenciální faktor  $A$ .

Výše uvedenou rovnici srovnajte s obecnou rovnicí přímky:

$$y = k \cdot x + a$$

a určete, která část výrazu odpovídá směrnici  $k$  a která členu  $a$ .

2. Rozpouštění šumivé tablety ve vodě lze rovněž použít ke kvalitativní demonstraci závislosti rychlosti reakce na povrchu reagujících látek v heterogenní reakci. Navrhněte, jak byste tento experiment prakticky provedli.

## Destilace rostlinných silic s vodní parou

Destilace je separační metoda, která se využívá k oddělení dvou látek na základě jejich rozdílné teploty varu. Prostou destilací za normálního tlaku můžeme od sebe oddělit těkavé látky, jejichž teplota varu se liší alespoň o 150 °C. Silice ovšem nejsou dostatečně těkavé, a proto musíme k jejich oddělení využít destilace vodní parou. Tato metoda separace látek se řídí Daltonovým zákonem – celkový tlak par nad soustavou dvou a více kapalin je roven součtu jejich parciálních tlaků. Tudíž se silice budou destilovat při nižší teplotě, než je jejich skutečná teplota varu, která se pohybuje okolo 200–300 °C. Produktem destilace vodní parou je emulze silic ve vodě, kterou je potřeba dále extrahovat, abychom získali čistý produkt silice.

### Chemikálie a materiál:

Rostlinný materiál (aromatické koření/jehličí/pomerančová kůra aj.), bezvodý síran sodný ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), diethylether ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ ), voda.

### Pomůcky:

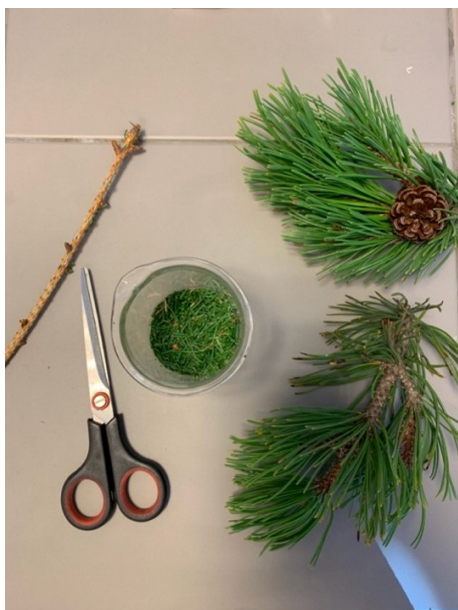
Varná baňka s kulatým dnem (250ml nebo 500ml), destilační nástavec, zátky, destilační most, alonž, svorky, 250ml Erlenmeyerova baňka, topné hnízdo, zvedáček, třecí miska s tloučkem/nůžky/struhadlo, zkumavka, Pasteurova pipeta a pipetovací balónek.

## Destilace vodní parou na prosté destilační aparatuře

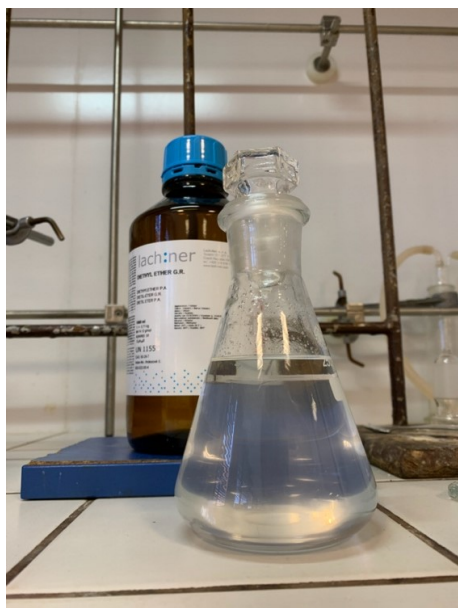
### Postup:

- Sestavte aparaturu pro destilaci vodní parou podle obrázku 24.
- Vzorek 15 g koření rozetřete v třecí misce/35 g jehličí nastříhejte nůžkami do čisté kádinky/kůru z šesti pomerančů nastrouhejte najemno na struhadle. Rostlinný materiál převedte do 250ml varné baňky a přidejte 150 ml vody nebo materiál převedte do 500ml varné baňky a přidejte 250 ml vody (čím větší objem varné baňky, tím rychleji bude destilace probíhat).
- Přidejte varný kamínek, baňku připojte k destilační aparatuře a začněte ji zahřívat topným hnízdem.
- Destilujete zhruba 2–3 hodiny. Na stěnách chladiče lze pozorovat kondenzaci par vody a silice.
- Po ukončení destilace vypněte topné hnízdo a nechte aparaturu zchladnout na laboratorní teplotu.
- Po usazení destilátu přidejte do Erlenmeyerovy baňky 10 ml diethyletheru. Baňku zátčkejte a opatrně protřepejte (pozor na tlak v baňce, díky kterému by mohla zátká vyskočit).
- Po protřepání lze pozorovat oddělení dvou vrstev. Horní vrstvu odeberte pomocí Pasteurovy pipety do čisté zkumavky. Extrakci diethyletherem proveďte ještě jednou, opět s 10 ml diethyletheru.
- Do etherického extraktu silice přidejte 5 g bezvodého síranu sodného, který slouží jako sušidlo a odnímá z extraktu zbylou vodu. Extrakt nechte chvíli odstát.

- Sušidlo odfiltrujte, případně dekantujte. Diethylether z etherického extraktu odstraňte odpařením na rotační vakuové odparky nebo probubláváním extraktu dusíkem (obrázek 25).



**Obrázek 31:** Příprava vzorku pro destilaci s vodní parou (nahore) a aparatura pro tuto destilaci (dole).



**Obrázek 32:** Extrakce emulze diethyletherem (vlevo) a odpařování rozpouštědla z extraktu proudem dusíku (vpravo).

### Destilace vodní páry na aparatuře s vyvíječem vodní páry

Destilační aparatura pro destilaci vodní páry na aparatuře s vyvíječem vodní páry se skládá v většího počtu komponent. Destilace rovněž vyžaduje speciální nástavec pro destilaci s vodní párou. Doba destilace se ale zkrátí o více než polovinu.

Vyvíječ páry je baňka s vývodem páry, uzávěrem baňky ale také prochází pojistná trubice, která brání nasátí kapaliny z destilační baňky do vyvíječe při poklesu tlaku v aparatuře. Jedná se o dlouhou skleněnou trubici, jejíž spodní konec musí zasahovat pod hladinu vody.

#### Postup:

- Sestavte aparaturu pro destilaci vodní párou podle obrázku 26. Vyvíječ páry a nástavec na destilaci vodní párou opatřete hadičkami dlouhými zhruba 7 cm (délku volíme tak, aby obě hadičky zasahovaly pod hladinu vody).
- Vzorek 15 g koření rozetřete v třecí misce/35 g jehličí nastříhejte nůžkami do čisté kádinky/kůru z šesti pomerančů nastrouhejte najemno na struhadle. Rostlinný materiál převedte do 250ml varné baňky a přidejte 150 ml vody.
- Přidejte varný kamínek, baňku připojte k aparatuře a začněte zahřívat topným hnízdem nebo kahanem.
- Baňku vyvíječe s kulatým dnem naplňte do 2/3 jejího objemu vodou, přidejte varný kamínek a začněte zahřívat kahanem. Vyvíječ připojte hadičkou k baňce s destilovanou směsí.
- Destilujte zhruba 1 až 2 hodiny. V průběhu destilace pozorujte probublávání vodní páry směsí ve varné baňce s rostlinným materiálem a také kondenzaci par silice a vody na chladných stěnách chladiče.
- Pro ukončení destilace vypněte topné hnízdlo a kahanem pod baňkou generující vodní páru. Nechte aparaturu zchladnout na laboratorní teplotu.

- Po usazení destilátu přidáme do Erlenmeyerovy baňky 10 ml diethyletheru. Baňku zátkujeme a opatrně protřepeme (pozor na tlak v baňce, díky kterému by mohla zátka vyskočit z baňky).
- Po protřepání dojde k oddělení dvou vrstev. Horní vrstvu odsajte pomocí Pasteurovy pipety a přeneste do čisté zkumavky. Extrakci proveďte ještě jednou, opět s 10 ml diethyletheru.
- Do etherického extraktu silice přidejte 5 g bezvodého síranu sodného, který slouží jako sušidlo a odnímá z extraktu zbylou vodu. Extrakt nechte se sušidlem stát delší dobu.
- Diethylether z etherického extraktu lze odpařit pomocí rotační vakuové odparky nebo probubláváním extraktu proudem dusíkem (obrázek 25).



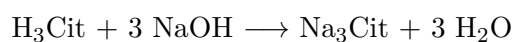
**Obrázek 33:** Destilační pro destilaci s vodní parou na aparatuře s vyvíječem vodní páry.

## Analýza toniců

### Stanovení kyseliny citronové v tonicu

Kyselina citronová je slabá trojsytná kyselina, jejíž vzorec můžete vidět níže. Dále budeme tuto trojsytnou kyselinu označovat jako  $H_3Cit$ .

Princip stanovení kyseliny citronové v tonicu je poměrně jednoduchý. Kyselina citronová reaguje s hydroxidem sodným, přičemž dochází k neutralizaci, která je popsána rovnicí:

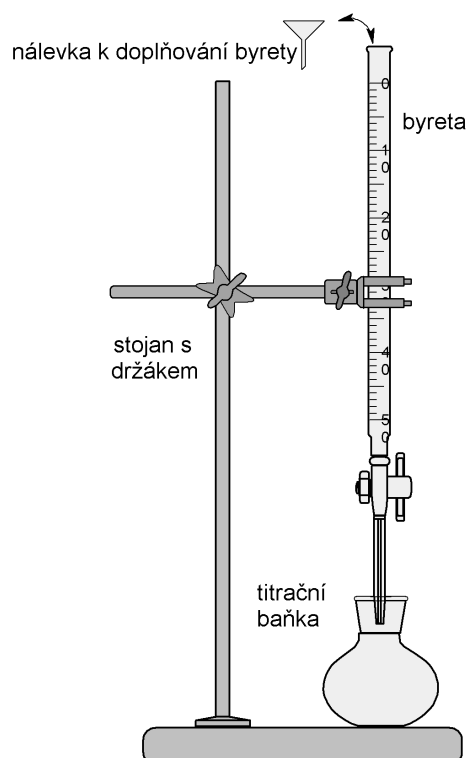


### Chemikálie a materiál:

Odměrný roztok NaOH ( $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ ), tonic, 1% roztok fenolftaleinu v ethanolu.

### Postup:

- Nejprve se sestavte titrační aparaturu (obrázek 27).
- Byretu promyjte odměrným roztokem hydroxidu sodného (přesná koncentrace je uvedena na láhvi s tímto roztokem) a doplňte následně byretu odměrným roztokem po rysku.
- Do titrační baňky si odpipetujte 10 ml odplyněného tonicu, zřeďte jej v titrační baňce asi 50 ml destilované vody a přidejte 3 kapky 1% ethanolického roztoku fenolftaleinu jako indikátoru.
- Titrujte odměrným roztokem NaOH do prvního stálého slabě růžovo-fialového zbarvení fenolftaleinu.
- Spotřebu odměrného roztoku NaOH si zaznamenejte a proceduru opakujte celkem  $3\times$ .
- Z průměrné spotřeby odměrného roztoku NaOH vypočítejte, jaké látkové množství kyseliny citronové bylo přítomno v titrační baňce.
- Vypočítejte, jaká byla koncentrace kyseliny citronové v tonicu v jednotkách gramů kyseliny citronové na litr nápoje.

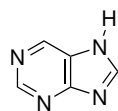


Obr. 34: Titrační aparatura

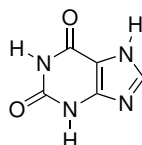


## Sublimace kofeinu z kávy nebo čaje

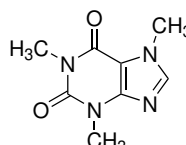
Alkaliod kofein je bílá krystalická látka hořké chuti. Po chemické stránce se jedná trimethylovaný derivát xanthinu, jehož struktura je odvozena od heterocyklu purinu.



7H-purin



xanthin



kofein

Kofein má výrazné biologické účinky. Jedná se o přirozený pesticid, který je neurotoxický pro býložravý hmyz. Byla také pozorována inhibice klíčení semen kofeinem v půdě, což představuje konkurenční výhodu pro semena obsahující kofein. U člověka se kofein váže na adenosinové receptory v neuronech a snižuje tak citlivost tohoto receptoru vůči jeho přirozenému ligandu (působí jako antagonist receptoru). Kofein následkem toho stimuluje CNS a krátkodobě potlačuje únavu a zvyšuje bdělost. Při opakované expozici kofeinu však organismus začíná tvořit větší počet adenosinových receptorů a stimulační efekt se tak zeslabuje.

Schopnost biosyntézy kofeinu získala nezávisle na sobě řada rostlin v průběhu evoluce. Člověk se naučil konzumovat kofein nejčastěji ve formě nápojů připravovaných z rostlin obsahujících tento alkaloid. Kofein se nachází např. v semenech kávovníků (rod *Coffea*), ve kterých tvoří 1–2 % jejich hmotnosti, listech čajovníku čínského (*Camellia sinensis*), semenech kakaovníku pravého (*Theobroma cacao*), semenech kolovníků (rod *Cola*), listech cesmíny paraguayské (*Ilex paraguariensis*), semenech paulinie nápojné – guarany (*Paullinia cupana*) a jiných.

Kofein je možné získat z rostlinného materiálu jeho sublimací při teplotě 160–170 °C (teplota sublimace kofeinu je 178 °C). Kofein z plynné fáze desublimuje na chladnějším povrchu. Kofein krystalizuje v podobě dlouhých jehlicovitých krystalů, které lze pozorovat mikroskopem nebo binokulární lupou.

### Chemikálie a materiál:

Mletá káva nebo čaj, led.

### Pomůcky:

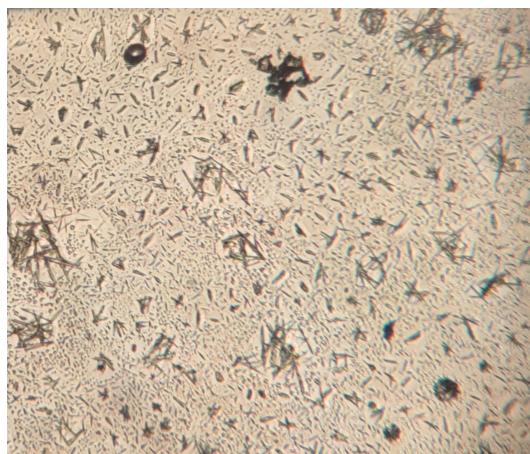
Dvě Petriho misky, třecí miska s tloučkem a mikroskop.

### Postup:

- Do menší Petriho misky nasypejte asi 2 g jemně mleté kávy nebo v třecí misce rozetřený čaj. Materiál rozhrňte, aby tvořil tenkou vrstvu.
- Petriho misku pomalu zahřívejte (míchačkou s ohřevem, kahanem přes sítku), aby se vzorek vysušil.
- Jakmile začne být patrný vývoj bílých par, přikryjte Petriho misku větší Petriho miskou (nebo hodinovým sklem). Vrchní Petriho misku chladte kouskem ledu.
- Opatrně zahřívejte dalších přibližně 5 minut. Dbejte, aby nedošlo k výraznému překročení vhodné teploty a tepelnému rozkladu rostlinného materiálu.



- Po vychladnutí pozorujte krystaly kofeinu mikroskopem nebo binokulární lupou.

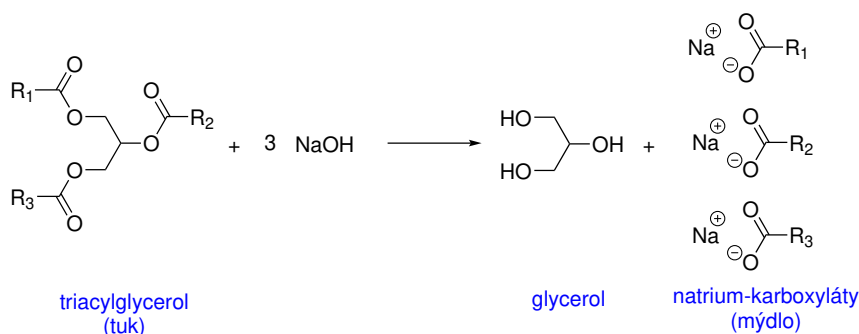


### Doplňující otázky:

1. Popište fyzikální podstatu děje sublimace.
2. Čím se liší tein přítomný v čaji od kofeinu přítomného v kávových zrnech?
3. Čím se liší theobromin přítomný v kakaových bobech od kofeinu přítomného v kávových zrnech?
4. Jmenujte alespoň čtyři biologicky významné látky, které jsou deriváty heterocyklu purinu.

## Domácí výroba mýdla na studené cestě

Mýdlo je po chemické stránce kapalná nebo pevná směs solí mastných kyselin, která se používá jako detergent, případně jako lubrikant. Sodná a draselná mýdla jsou nejdéle používané detergenty sloužící k praní a jako prostředek osobní hygieny. Mýdla se tradičně připravují zmýdlením – hydrolýzou tuků (triacylglycerolů) v přítomnosti báze (alkalické hydroxidy nebo uhličitany).



Mýdlovou hmotu k praní oblečení začali lidé vyrábět již 2 800 let před našim letopočtem. Toto mýdlo bylo připravováno zahříváním tuku s popelem, který je bohatý na uhličitany draselný (potas). V této úloze si vyzkoušíme jednoduchou domácí přípravu mýdla na studené cestě. Směs kapalného a pevného rostlinného tuku smícháme s koncentrovaným vodným

roztokem NaOH a mícháním směsi vytvoříme stabilní emulzi. Vytvořenou směs následně nalijeme do formy vhodného tvaru a necháme mýdlovou masu vytvrdnout a vyschnout. První dva týdny ještě probíhá saponifikace (zmýdelnění) přítomných tuků, další čtyři týdny jsou potřeba na vyschnutí mýdla. Poměr tuku a báze je nastaven tak, aby po skončení reakce zůstalo ve směsi malé množství nezreagovaného tuku. Ve směsi rovněž zůstane reakcí vzniklý glycerol. Díky tomu bude vzniklé mýdlo šetrnější k pokožce.

## Výroba mýdla z rostlinných tuků

### Chemikálie a materiál:

NaOH, kapalným rostlinným olejem (olivový, řepkový, slunečnicový. . .), pevným rostlinným tukem (kokosový olej. . .), aditiva (mák, sezamová semínka, mletý kokos, sušená levandule, kousky rostlin).

### Pomůcky:

Tyčový mixér, dlouhá lžička, kádinky (600 ml a 400 ml), silikonové formy, potravinářská fólie nebo alobal.

### Postup:

- Do kádinky o objemu 600 ml nebo více navažte 50 g pevného rostlinného tuku a přidejte 250 g kapalného rostlinného tuku. Směs zahřejte tak, aby pevný tuk roztál.
- V kádince o objemu 250 ml připravte roztok 40 g NaOH v 50 ml demineralizované vody. Roztok bude díky teplu uvolněnému při rozpouštění horký.
- Teplý roztok NaOH vlijte do teplé kapalně smíchané směsi tuků. Směs intenzivně míchejte vhodným nástrojem (nehodí se k tomu skleněná tyčinka). Nejlépe lze směs promíchat pomocí tyčového mixéru. Před zapnutím míchání je však potřeba ústí kádinky zakrýt např. potravinářskou fólií nebo kouskem alobalu, protože během míchání může dojít k vystříknutí teplé bazické hmoty z kádinky. Mícháme tak dlouho, až vznikne hmota pudinkové konzistence.
- Ke směsi můžete přidat zvolená aditiva. Následně směs nalijte do vhodných forem, ve kterých mýdlo vytvrdne.
- Hmotu ve formě nechte minimálně 2 dny. Následně ji můžete opatrně vyklopit a nechat doreagovat a vyschnout, což vyžaduje asi 6 týdnů.

### Poznámka:

Cena nejlevnějších tyčových mixérů se pohybuje kolem 250 Kč. Jednotlivé rostlinné tuky dávají výslednému mýdlu různou barvu. Mýdlo vyrobené ze slunečnicového oleje je sněhobílý, řepkový olej poskytuje mýdlo béžové barvy, olivový olej poskytne žluto-zelené mýdlo.

## Výroba mýdla z avokáda

Dužina avokáda obsahuje 10–12 % tuku, který se složením masných kyselin podobá olivovému oleji. Tuk je možné z rozmělněného plodu vyextrahovat pomocí organických rozpouštědel. Současně dojde k extrakci zeleného barviva, díky kterému získá vyrobené mýdlo atraktivní zelenou barvu.

### Chemikálie a materiál:

NaOH, 3 avokáda, kapalný rostlinný olej (olivový, řepkový, slunečnicový...), pevný rostlinný tuk (kokosový olej...), aditiva (mák, sezamová semínka, mletý kokos, sušená levandule, kousky rostlin).

### Pomůcky:

Tyčový mixér, elektrický vařič nebo míchačka s ohřevem, nádoba na vodní lázeň, velká nálevka, filtrační papír, tyčinka, velká lžička, kádinky (800 ml a 400 ml), silikonové formy.

### Postup:

- Zvažte 800ml kádinku. Olupejte avokádo, vypeckujte ho a dužinu umístěte do kádinky. Poté kádinku znovu zvažte za účelem získání čisté hmotnosti dužiny.
- Dužinu následně v kádince rozmíchejte lžičkou na kaši. Ve jiné kádince připravte směs 240 ml ethyl-acetátu a 60 isopropylalkoholu. Dužinu extrahujte tímto roztokem (míchejte plastovou lžičkou nejméně 5 minut).
- Extrakt dekantujte do předem zvážené kádinky o objemu 400 ml. Dužinu od rozpouštědla případně přefiltrujte přes hladký filtrační papír. Zbytek dužiny propláchněte ještě  $2 \times 40$  ml ethyl-acetátu. Kádinku s filtrátem dejte do vroucí vodní lázně v digestoři a rozpouštědlo z extraktu odpařte. Kádinku se zbylým tukem zvažte a stanovte množství izolovaného tuku.
- Výpočet množství výchozích látek pro výrobu mýdla: S výpočtem vám pomůže níže uvedená tabulka. Předpokládejte, že celkové množství všech použitých tuků bude  $m_{tuk} = 510$  g. Třetinu obsahu tuků by měly být pevné tuky (kokosový olej apod.), jejichž hmotnost je označena  $m_s$ . Zbytek tvoří rostlinný olej (jeho hmotnost je označena  $m_o$ ) spolu s tukem z avokáda (jeho hmotnost je označena  $m_a$ ). Destilovaná voda tvoří  $1/3$  hmotnosti všech tuků ( $m_{H_2O}$ ). Pro výpočet hmotnosti hydroxidu sodného platí vzorec:  $m_{NaOH} = m_{tuk} \cdot 0,128$ . Zjištěné a vypočítané hmotnosti si zaznamenejte do následující tabulky.

	Zjištěná nebo vypočtená hodnota
<b>Celkové množství tuku</b> $m_{tuk}$	
<b>Hmotnost tuku z avokáda</b> $m_a$	
<b>Hmotnost tuhého tuku</b> $m_s = \frac{m_{tuk}}{3}$	
<b>Hmotnost rostlinného oleje</b> $m_o = \frac{2}{3} \cdot m_{tuk} - m_a$	
<b>Hmotnost NaOH</b> $m_{NaOH} = 0,128 \cdot m_{tuk}$	
<b>Hmotnost vody</b> $m_{H_2O} = \frac{m_{tuk}}{3}$	

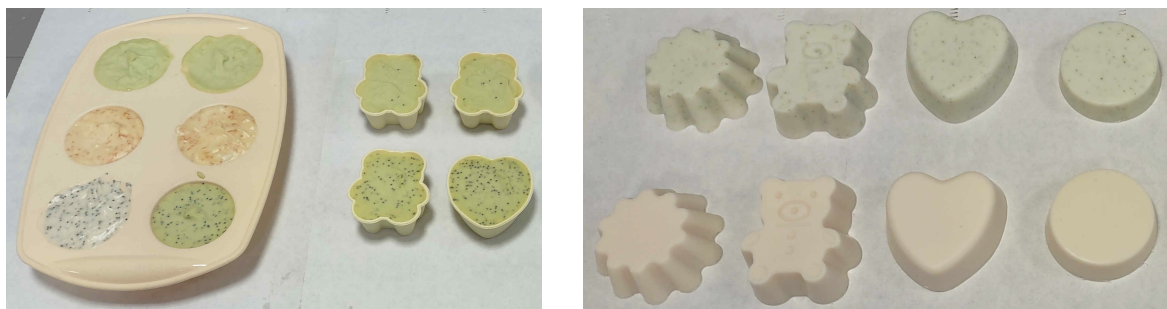
- Nalijte potřebné množství destilované vody do 400ml kádinky. Za stálého míchání přidávejte opatrně hydroxid sodný a roztok míchejte, dokud se veškerý hydroxid nerozpustí. Horký roztok nechte vychladnout na teplotu přibližně 45–55 °C.
- V čisté kádince o objemu 1000 ml zahřejte všechny tuky, dokud se pevný tuk nerozpustí. Směs tuků nechte vychladnout na teplotu 45–55 °C.
- Směs hydroxidu sodného s vodou opatrně přidávejte do rozpuštěné směsi olejů. Směs míchejte pomocí magnetické míchačky, dokud směs nebude mít konzistenci hustého pudinku (zhruba 30–40 minut). Rychleji výsledku můžeme dosáhnout promísením směsi pomocí tyčového mixéru. Před zapnutím míchání je však potřeba ústí kádinky zakrýt např. potravinářskou fólií nebo kouskem alobalu, protože během míchání může dojít k vystříknutí teplé bazické hmoty z kádinky.
- Do směsi můžete přidat vonnou esenci nebo sezamová semínka.
- Směs nalijte do plastových formiček a přikryjte hliníkovou fólií. Formičky umístěte na teplé místo, kde mýdlo může pomalu vytvrdnout. Kostky mýdla se vytvrzují 6 týdnů, během kterých dochází ke zmydelňování (klesá pH).



**Obr. 35:** Směs kapalného a pevného rostlinného tuku.



**Obr. 36:** Směs rostlinných tuků a roztoku NaOH po promísení pomocí tyčového mixéru.



**Obr. 37:** Mýdlový hmota v silikonových formách (vlevo). Mýdla po vyklopení ze silikonové formy (vpravo).

### Doplňující otázky:

1. Pokuste se odhadnout, kolik procent esterových vazeb v tuku zanikne reakcí s NaOH, pokud do reakce nasadíte 300 g tuku a 40 g NaOH. Předpokládejte, že tuk obsahuje pouze tripalmitin, jeho molární hmotnost je  $806,74 \text{ g mol}^{-1}$ .
2. Při nízkých koncentracích existují ve vodných roztocích samostatné molekuly mýdla. Po překročení kritické micelární koncentrace se však v roztoku počnou z molekul mýdla tvořit micely. Popište nebo načrtněte strukturu micely.
3. Vysvětlete, jak struktura micely souvisí se schopnostmi mýdla zvyšovat rozpustnost lipofilních látek ve vodném prostředí.
4. Vysvětlete, proč tvrdá voda snižuje účinnost mýdel.
5. Uveďte, kterými fyzikálními vlastnostmi se liší sodná a draselná mýdla.
6. Následující tabulka zachycuje typické zastoupení hlavních mastných kyselin ve třech tucích – kokosovém, palmovém a řepkovém oleji. Na základě složení mastných kyselin přiřadte tuky A až C uvedeným druhům oleje. Svou volbu zdůvodněte.

Mastná kyselina	Zastoupení kyseliny		
	Tuk A	Tuk B	Tuk C
Kys. kaprylová (oktanová)	7 %		
Kys. kaprinová (dekanová)	8 %		
Kys. laurová (dodekanová)	48 %		
Kys. myristová (tetradekanová)	16 %		1 %
Kys. palmitová (hexadekanová)	9 %	4 %	44 %
kys. stearová (oktadekanová)	3 %	2 %	4 %
Kys. olejová ( <i>cis</i> -oktadec-9-enová)	6 %	61 %	37 %
Kys. linolová ( <i>cis,cis</i> -oktadeca-9,12-dienová)		21 %	9 %
Kys. $\alpha$ -linolenová ( <i>cis,cis,cis</i> -oktadeca-9,12,15-trienová)		11 %	
<b>Celkem</b>	94 %	99 %	95 %

## Změna barvy květů po vystavení párám amoniaku

Tento jednoduchý experiment potvrzuje přítomnost anthokyanů ve květech, jejich acidobazické vlastnosti a možnost jejich využití jako indikátory bazického prostředí. Páry amoniaku pronikají do pletiv rostlin, kde se ve vodě rozpouštějí, čímž roste hodnota pH. Pokud jsou v rostlinných pletivech přítomny anthokyany, dojde ke změně barvy.

### Pomůcky:

Kádinka, Petriho miska nebo hodinové sklo.

### Chemikálie a suroviny:

Květy rostlin, vodný roztok amoniaku (25%).

### Provedení:

Na dno kádinky nalijte malé množství koncentrovaného roztoku amoniaku, do kádinky vložte květ a kádinku zakryjte. Pozorujte změny barvy květu.



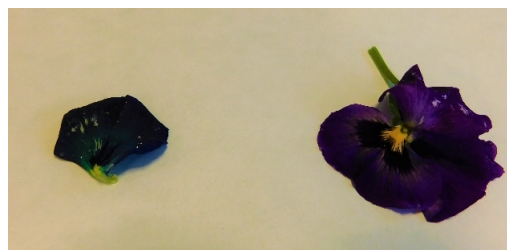
**Obrázek 38:** Tulipán  
(neutrální prostředí, zásadité prostředí)



**Obrázek39:** Okvětní lístky růže  
(zásadité prostředí, neutrální prostředí)



**Obrázek 40:** Pelargonie  
(neutrální prostředí, zásadité prostředí)

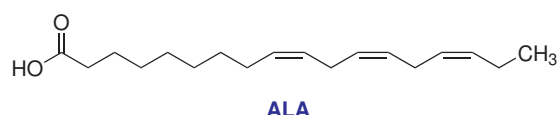
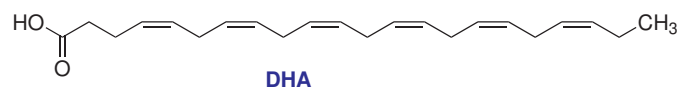
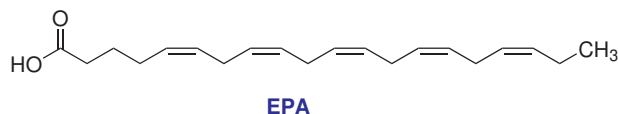


**Obrázek 41:** Maceška  
(zásadité prostředí, neutrální prostředí)

## Důkaz kvality doplňku stravy s $\omega$ -3-nenasycenými mastnými kyselinami

Omega-3-nenasycené mastné kyseliny se vyznačují dlouhými uhlíkatými řetězci a přítomností dvojných vazeb ve svých strukturách. Jedná se o látky, které jsou nezbytné pro správnou funkci lidského organismu, některé jsou dokonce esenciální, protože si je naše tělo nedokáže vyrobit. Z hlediska lidské fyziologie jsou nejvýznamnějšími kyselinami  $\alpha$ -linolenová kyselina (ALA),

kteřá se nachází v rostlinných tucích, eikosapentaenová kyselina (EPA) a dokosahexaenová kyselina (DHA).



Omega-3-nenasycené mastné kyseliny patří mezi mastné kyseliny, které nacházíme v přírodě vázané v podobě tuků – triacylglycerolů. Zastoupení mastných kyselin v tucích je značně proměnlivé. Nejsnadněji dostupným zdrojem tuků bohatých na EPA a DHA je rybí tuk. Bohužel ani konzumace dvou porcí ryby během jednoho týdne nezajistí přísun dostatečného množství potřebných omega-3-nenasycených mastných kyselin. Proto se na trhu objevují různé potravinové doplňky na bázi rybího tuku. Mastné kyseliny se v nich mohou nacházet vázané ve formě triacylglycerolu nebo ethylesteru, který vznikne transesterifikací triacylglycerolu. Z výživového hlediska jsou obě formy podobné, výrobky na bázi ethylesterů však mohou být upraveny tak, aby obsahovaly vyšší koncentraci požadovaných mastných kyselin.

Následující experiment ukazuje způsob, jak lze jednoduše rozlišit doplněk na bázi ethylesterů mastných kyselin od běžného (rybího) tuku. Oba typy látek rozpouštějí pěněný polystyren, ethylestery mastných kyselin tak ale činí mnohem rychleji.

### Pomůcky:

Plastová miska nebo plato.

### Chemikálie a materiál:

Polystyrenové kelímky, olivový olej, lněný olej, vzorky doplňků stravy obsahující EPA a DHA.

### Provedení:

Do polystyrenových kelímků nalijte cca 100 ml vody o teplotě přibližně 30 °C. Do každého kelímku nalijte několik ml příslušného oleje. Použijte běžné kuchyňské oleje a potravinový doplněk s rybím olejem. Potravinové doplňky jsou prodávány obvykle ve formě želatinových kapslí. Pro tento experiment použijte asi tři kapslí – kapsle propíchněte a jejich obsah vykapecjte do kelímku. Po přibližně 10–20 minutách by měl být patrný efekt oleje na polystyrenovou stěnu kelímku.



a)



b)



c)



**Obrázek 42:** Účinek kapalných tuků na polystyrenový kelímek. Zleva slunečnicový olej, lněný olej a rybí olej z potravinového doplňku na začátku experimentu (a), po 10 minutách (b) a po 20 minutách.

#### Doplňující otázky:

1. Pokuste se vysvětlit, proč ethylestery mastných kyselin tak efektivně rozrušují vnitřní strukturu polystyrenu.
2. Navrhněte provedení experimentu v případě, že polystyrenové kelímky nejsou na trhu k dispozici.
3. Methyl- nebo ethylestery mastných kyselin mají také významné praktické použití. Uveďte, k čemu se také využívají.

### Barvení vlněného vlákna syntetickými barvivy z potravin

Jednou z možností jak lze rychle a efektivně dokázat přítomnost umělých barviv v potravinách, je jejich schopnost barvit odtučněné vlněné vlákno. Přírodní barviva nejsou k vláknu poutána příliš pevně, takže se po proprání obarveného vlákna vodou z velké části vymyjí, kdežto umělá barviva zůstanou trvale na vlněném vlákne.

#### Pomůcky:

Kádinky, elektrický vařič, varný kamínek, pinzeta.

#### Chemikálie a materiál:

Petrolether nebo benzín, 5% vodný amoniak, neobarvená bílá vlněná vlákna, syntetická potravinářská barviva (žlutá citronová, červená malinová), vzorky potravin obsahující syntetická barviva (např. vitamín, jahody ve sladkém nálevu, bonbóny m&m's, Fanta...)



### Provedení:

Z bílého vlněného vlákna nejprve odstraňte nečistoty a tukovou složku. Nastříhaná vlákna (dle počtu vzorků) byla ponořte do petroletheru a po vysušení na filtračním papíře vlákna po dobu 10 minut zahřívejte v 5% roztoku amoniaku (od této chvíle se po celou dobu s vlákny manipulujte pouze pomocí pinzety!). Po ukončení zahřívání vlákna properte vodou. Mezitím si připravte vodné roztoky jednotlivých vzorků barviv nebo vzorky tekutých potravin. Vzorky v kádinkách zahřejte na teplotu přibližně 70 °C, vložte do nich vlákna a nechte barviva adsorbovat při po dobu 20 minut. Nakonec vlákna vytáhněte a operte vodou v proudu kohoutkové vody. Vlákna vysušte na filtračním papíře a výsledek vizuálně zhodnoťte.



**Obrázek43:** Možné vzorky potravin se syntetickými barvivy a samotných potravinářských barviv.



**Obrázek 44:** Barvení vlněného vlákna.

### Doplňující otázky:

1. Pokuste se vysvětlit, proč je vlněné vlákno zahříváno s vodným roztokem amoniaku.

2. Dohleďte struktury syntetických barviv přítomných v potravinách, které jste zkoumali, a se znalostí chemické povahy vlny se pokuste navrhnout, jakými silami jsou barviva poutána k povrchu vlákna.

## **Extrakce syntetických barviv z potravin a následná analýza pomocí tenkovrstvé chromatografie**

Chromatografie na tenké vrstvě (TLC) je účinná analytická metoda využívána napříč mnoha odvětvími chemie. Velmi hojně se používá například pro důkaz látky ve vzorku pomocí srovnání se standardem. V následujícím experimentu se pokusíme potvrdit přítomnost syntetických barviv E 102, E 104, E 110, E 122, E 124 a E 129 v některých potravinách. Jako standardy nám poslouží potravinářská barviva, která tyto látky obsahují spolu s inertní solí.

### **Pomůcky:**

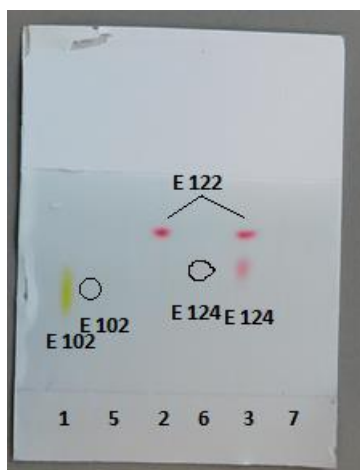
Zkumavky, kádinky, hliníková destička se silikagelem (stacionární fáze), vyvíjecí komůrka, kapiláry.

### **Chemikálie a materiál:**

Propanol, butan-2-ol, 1% kyselina octová, 98% kyselina octová, vzorky potravin obsahující syntetická barviva (např. potravinářské barvivo žluť citrónová, potravinářské barvivo červeň malinová, potravinářské barvivo růžová, potravinářské barvivo červeň jahodová, vitacit s citrónovou příchutí, vitacit s jahodovou příchutí, jahody ve sladkém nálevu, bonbóny m&m's, fanta).

### **Provedení:**

Do zkumavek odměřte 5 ml propanolu a přidáno asi 5 kapek 1% kyseliny octové. Poté přidejte vzorky potravin a barviva z jednotlivých potravin ve zkumavkách propanolem extrahujte. Mezitím připravte mobilní fázi ve složení kyselina octová/butan-2-ol/voda v objemovém poměru 5:10:6. Dle rozměrů vyvíjecí komůrky byla přichystejte destičku se silikagelem, na které vyznačte tužkou start (asi 1 cm od okraje destičky). Asi po 15 minutách extrakce propanolem vzorky z jednotlivých zkumavek opatrně naneste tenkou kapilárou na start. Samotné vyvíjení probíhá asi 15 minut. Po vytažení destičky z vyvíjecí komůrky vyznačte na destičce čelo chromatogramu. Celý postup zopakujte ještě s mobilní fází ve složení kyselina octová (**koncentrace?**)/butan-2-ol/voda v objemovém poměru 5:10:6.

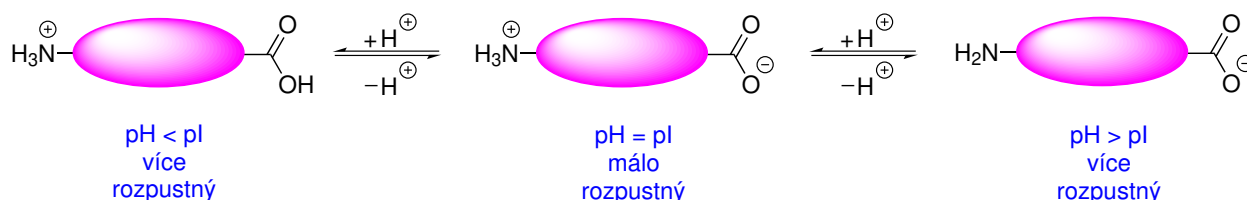


**Obrázek 45:** Chromatogram vzorků potravin se syntetickými barvivy. 1 – Tartrazin (E102), 2 – azorubin (E122), 3 – směs azorubinu (E122) a košenilové červení A (E 124), 5 – vitacit citrónový, 6 – vitacit jahodový a 7 – bonbóny m&m's.

## Izolace kaseinu z mléka

Kasein je nejdůležitější protein v mléce. Funguje jako zásobní protein zabezpečující nutriční požadavky. Kasein můžeme izolovat okyselením mléka na úroveň jeho izoelektrického bodu. Izelektrický bod je specifická hodnota pH, při které je počet kladných nábojů v proteinu roven počtu záporných nábojů. Při této hodnotě pH je protein nejméně rozpustný ve vodě, protože má tendenci vytvářet agregáty na základě elektrostatických interakcí.

Na druhé straně, pokud má molekula proteinu celkový kladný náboj (při nízkém pH, tedy v kyselém prostředí) nebo celkový záporný náboj (při vysokém pH, tedy v zásaditém prostředí), její rozpustnost ve vodě stoupá.



Mléko má standardní pH lehce pod 7. Kasein vysrážíme ve formě nerozpustného proteinu okyselením mléka na hodnotu jeho izoelektrického bodu ( $pI = 4,6$ ; pH, při kterém má kasein nulový náboj a je tak nerozpustný). Lipidové složky mléka, které se sráží spolu s kaseinem, odstraníme rozpuštěním v alkoholu.

### Chemikálie a materiál:

Nízkotučné mléko, kyselina octová koncentrovaná, ethanol a diethylether.

### Postup:

- Do kádinky o objemu 250 ml si odvažte **50 g** mléka.

- Obsah kádinky pomalu zahřívajte na vodní lázni. Při zahřívání mléko neustále míchejte tyčinkou a kontrolujte jeho teplotu.
- Po dosažení teploty okolo **40 °C** baňku vyjměte z vodní lázně a za stálého míchání přidejte **5 ml** koncentrované kyseliny octové.
- Směs s vyloučeným kaseinem přefiltrujte přes plátno. Po ukončení filtrace sraženinu zabalte do plátna a vymačkáním z ní odstraňte co nejvíce vody. Filtrát likvidujte do výlevky.
- Sraženinu z plátna seškrábejte pomocí špachtle do prázdné kádinky.
- Do baňky se sraženinou přidejte **25 ml** ethanolu a asi **5 minut** míchejte. Sraženinu nechte volně usadit a opatrně odlijte kapalnou fází.
- Ke sraženině přidejte **25 ml** směsi diethylether-ethanol (1:1) a opět asi **5 minut** míchejte. Pozor, diethylether je extrémní hořlavina! Ujistěte se, že nepracujete v blízkosti otevřeného ohně!
- Sestavte si aparaturu pro filtraci za sníženého tlaku.
- Suspenzi kaseinu oddělte pomocí Büchnerovy nálevky.
- Jakmile se odsaje všechny matečný roztok, ponechejte kasein prosávat vzduchem cca **5–10 minut**, aby došlo k jeho dobrému vysušení.
- Izolovaný kasein rozsypejte na arch filtračního papíru a nechte volně (nebo v sušárně při **40 °C**) vysušit. Po vysušení jej zvažte a vypočítejte výtěžek.

#### Doplňující otázky:

1. Jaký je průměrný hmotnostní zlomek kaseinu v kravském mléce? Srovnajte s vámi dosaženým výsledkem.

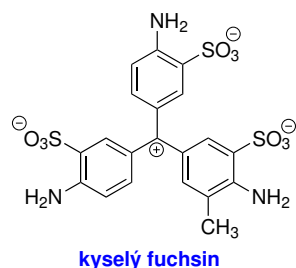
## Přesýpací hodiny v krystalu – inkluze kyselého fuchsinu v krystalu $K_2SO_4$

Některá organická barviva jsou schopny se selektivně adsorbovat jen na jednu plochu krystalu určité soli<sup>4</sup>. Tato selektivní adsorpce je značně specifická a byla pozorována jen pro poměrně malý počet dvojic sůl–barvivo. Pokud budou z nasyceného roztoku soli růst v přítomnosti barviva krystaly, dochází k obarvení části krystalu, která narostla z plochy, na kterou se barvivo adsorbuje. Vzhled inkluzních krystalů závisí také na koncentraci barviva, teplotě a rychlosti odpařování.

Jedním ze známých příkladů tohoto chování je krystalizace síranu draselného v přítomnosti kyselého fuchsinu.

---

<sup>4</sup>Souhrn všech známých dvojic sůl–barvivo, které vykazují popisované chování, najdete v následujícím článku: Bart Kahr, Jason K. Chow, and Matthew L. Peterson: Organic Hourglass Inclusions: A Review of Past and Recent Work and a Student Experiment. *J. Chem. Educ.* **1994**, 71, 7, 584.



## Chemikálie

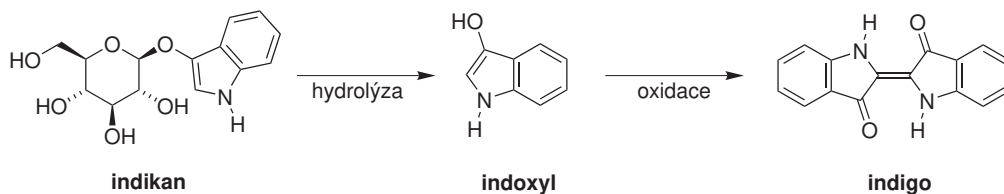
Síran draselný a kyselý fuchsin.

## Postup:

1. Ve **40 cm<sup>3</sup>** demineralizované vody rozpustíme **40 mg** kyselého fuchsinu.
2. Navážíme **20 g** síranu draselného a sůl následně rozpustíme ve **200 cm<sup>3</sup>** demineralizované vody.
3. Roztok síranu draselného nalijeme do krystalizační misky a smísíme jej s **15–40 cm<sup>3</sup>** roztoku kyselého fuchsinu.
4. Vzniklý roztok necháme asi jeden týden odpařovat a krystalizovat za laboratorní teploty. Pozorujeme vznik inkluzních krystalů. Povedené exempláře můžeme z roztoku pinzetou vyjmout, opláchnout nasyceným vodným roztokem K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a vysušit na vzduchu.

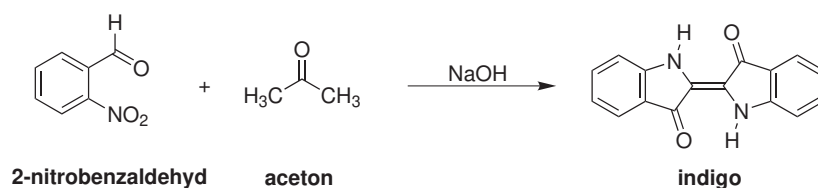
## Příprava indiga

Indigo je modré barvivo, které se tradičně používalo k barvení textilií. Původním zdrojem indiga byl především indigovník pravý z početného rodu indigovník, který dále patří do čeledi bobovitých rostlin. Indigovník pravý je rostlina, která je doma v tropických oblastech, pochází z Afriky, ale nejdříve začalo být využíváno k barvení textilií v Indii. Prekurzorem indiga, který je v rostlině přítomný, je glykosid indikan, který enzymaticky hydrolyzuje na tzv. indoxyl a glukosu. Oxidací indoxylu mírným oxidačním činidlem, např. vzdušným kyslíkem, vzniká ve vodě nerozpustné indigo.

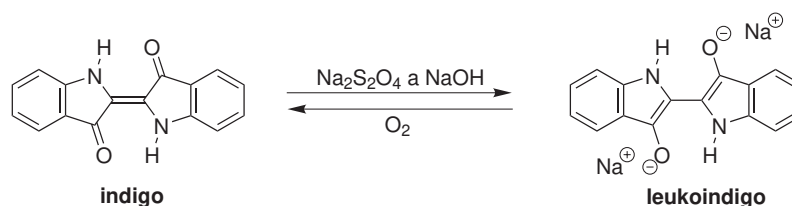


Indigo je kypové barvivo, tzn. že se jeho molekuly chemicky nespojují s textilním vláknem, ale zachycují se jako nerozpustný pigment na povrchu vlákna.

Příprava syntetického indiga byla poprvé popsána v roce 1870, roku 1897 byla zahájena průmyslová komerční produkce syntetického indiga. Syntéza indiga je založena na bazické kondenzaci 2-nitrobenzaldehydu a acetonu (Baeyerova-Drewsenova syntéza).



Indigo je prakticky nerozpustné ve vodě a jako takové je nelze přímo použít k barvení textilních vláken. Redukcí indiga dithioničitanem sodným nebo hydrogensířičitanem v bazickém prostředí vzniká tzv. leukoindigo, které je ve vodě rozpustné. V podobě roztoku může být tato látka aplikována na vlákna, přičemž kyslík přítomný ve vzduchu leukoindigo zoxiduje zpět na indigo, které zůstane na vlákně zachyceno.



### Chemikálie:

2-nitrobenzaldehyd, aceton, 10% vodný roztok NaOH, ethanol, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, vodný roztok NaOH o koncentraci 2 mol dm<sup>-3</sup>

### Postup

#### Příprava indiga

Navážte **1,0 g** 2-nitrobenzaldehydu do kádinky (250 cm<sup>3</sup>), rozpusťte jej ve **20 cm<sup>3</sup>** acetonu a zřeďte **40 cm<sup>3</sup>** deionizované vody. Za intenzivního míchání skleněnou tyčinkou přilijte do tohoto roztoku **5 cm<sup>3</sup>** roztoku hydroxidu sodného o koncentraci 2 mol dm<sup>-3</sup>. Roztok okamžitě změní barvu na intenzivně žlutou, následně ztmavne a po přibližně 20 sekundách se objeví tmavá sraženina indiga. V míchání pokračujte dalších **5 minut**.

Na Büchnerově nálevce odsajte vzniklé indigo. Produkt na filtru promývejte deionizovanou vodou dokud odtékající voda nebude bezbarvá (bude potřeba cca 200 cm<sup>3</sup>). Následně promyjte produkt **40 cm<sup>3</sup>** ethanolu.

Produkt můžete vysušit ve vakuové sušárně. Od vysušeného produktu můžete změřit IR a NMR spektra.

#### Barvení

Do kádinky (100 cm<sup>3</sup>) dejte cca **100 mg** indiga, přidejte několik kapek ethanolu a směs promíchejte skleněnou tyčinkou. Do směsi přidejte **1 cm<sup>3</sup>** deionizované vody a vzniklou suspenzi důkladně promíchejte. Do suspenze přidejte **3 cm<sup>3</sup>** roztoku hydroxidu sodného o koncentraci 2 mol dm<sup>-3</sup>.

V další kádince o objemu 100 cm<sup>3</sup> si připravte roztok dithioničitanu sodného rozpuštěním **0,6 g** této látky ve **20 cm<sup>3</sup>** deionizované vody. Následně přilijte tento roztok do kádinky s indigem a kádinku přikryjte hodinovým sklem. Roztok v kádince zahřejte ve vodní lázni na **50 °C** a jakmile se roztok zbarví do žluta anebo zelena, přidejte dalších **40 cm<sup>3</sup>** deionizované vody.

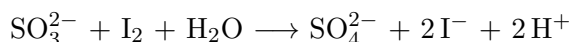
Do roztoku ponořte tkaninu, kterou chcete obarvit a nechte ji stát **1 hodinu** při **50 °C**. Roztok občas promíchejte.

Po 1 hodině vyjměte tkaninu z kádinky pomocí kleští nebo pinzety a vytlačte z ní ulpělý roztok. Po chvíli byste měli pozorovat ztmavnutí tkaniny. Následně odstraňte z tkaniny zbytky indiga, které se nezachytily na její vlákna, propláchnutím tkaniny pod tekoucí vodou.

## Jodometrické stanovení siřičitanů ve víně

Oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) je významnou přídatnou látkou do vína, používanou při výrobě vína již od starověku. Oxid siřičitý zabraňuje množení bakterií, plísní a kvasinek, proto se užívá k desinfekci (tzv. síření) sudů. Cíleně se rovněž přidává do samotného vína, protože vedle antiseptických účinků má antioxidační a antialdehydické vlastnosti. Oxid siřičitý ve víně najdeme ve volné a vázané formě. Vázaný oxid siřičitý vzniká vázáním volného oxidu siřičitého na látky rozpuštěné ve víně a již nemá žádné účinky.

Ke stanovení koncentrace oxidu siřičitého (siřičitanů) ve víně použijeme jodometrickou titraci odměrným roztokem  $\text{KI}_3$  o koncentraci  $0,02 \text{ mol dm}^{-3}$ . Základem je stanovení je reakce:



Ke stanovení siřičitanu ve víně je potřeba vzorek okyselit, aby došlo k uvolnění volného siřičitanu. Celkové siřičitany se uvolní po alkalizaci vzorku pomocí  $\text{NaOH}$ . Protože víno obsahuje mnoho jiných látek, které mohou reagovat s jodem, je potřeba provést korekci na koncentraci interferujících látek. Po přidání roztoku formaldehydu dojde k adici siřičitanu na tento aldehyd, následně lze stanovit spotřebu odměrného roztoku způsobenou vedlejšími reakcemi.

### Chemikálie:

Odměrný roztok  $\text{KI}_3$  ( $c = 0,02 \text{ mol dm}^{-3}$ ), roztok Chelatonu III ( $c_m = 30 \text{ g dm}^{-3}$ ), roztok  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $c = 1,8 \text{ mol dm}^{-3}$ ), roztok  $\text{NaOH}$  ( $c = 4 \text{ mol dm}^{-3}$ ), škrobový maz ( $w = 1\%$ ), vodný roztok formaldehydu ( $w = 10\%$ ).

### Postup stanovení:

- Do titrační baňky napipetujeme  $50 \text{ cm}^3$  vína, přidáme  $1 \text{ cm}^3$  roztoku Chelatonu III,  $5 \text{ cm}^3$  škrobového mazu a  $3 \text{ cm}^3$   $1,8\text{M-H}_2\text{SO}_4$ . Takto připravený roztok titrujeme odměrným roztokem  $\text{KI}_3$  do modrého zbarvení. Stanovíme spotřebu odměrného roztoku odpovídající reakci volných siřičitanů  $V_1$ .
- Do stejného roztoku, který zůstal v titrační baňce přidáme dále  $8 \text{ cm}^3$   $4\text{M-NaOH}$  a po zamíchání necháme roztok 5 minut stát. Následně přidáme  $10 \text{ cm}^3$   $1,8\text{M-H}_2\text{SO}_4$  a ztitrujeme odměrným roztokem  $\text{KI}_3$  do modrého zbarvení. Stanovíme spotřebu odměrného roztoku odpovídající reakci vázaných siřičitanů  $V_2$ .
- Pro vyvázání veškerých siřičitanů z vína přidáme k roztoku ještě  $20 \text{ cm}^3$   $4\text{M-NaOH}$  a po zamíchání necháme roztok opět 5 minut stát. Roztok následně okyselíme přidávkem  $30 \text{ cm}^3$   $1,8\text{M-H}_2\text{SO}_4$ . Stanovíme spotřebu  $V_3$ .
- Pro stanovení koncentrace interferujících látek postupujeme následovně: do titrační baňky napipetujeme  $50 \text{ cm}^3$  vína, přidáme  $1 \text{ cm}^3$  roztoku Chelatonu III,  $5 \text{ cm}^3$  škrobového mazu a  $5 \text{ cm}^3$   $10\%$  roztoku formaldehydu. Roztok poté okyselíme přidávkem  $3 \text{ cm}^3$   $1,8\text{M-H}_2\text{SO}_4$  a ztitrujeme jej odměrným roztokem  $\text{KI}_3$  do modrého zbarvení. Stanovíme spotřebu odměrného roztoku  $V_4$ .

	$V_1/\text{cm}^3$	$V_2/\text{cm}^3$	$V_3/\text{cm}^3$
1. titrace			
2. titrace			
3. titrace			
<b>Průměr</b>			



### Vyhodnocení:

Spotřebu odměrného roztoku pro titraci celkových siřičitanů ( $V_{KI_3}$ ) stanovíme z rovnice:

$$V_{KI_3} = V_1 + V_2 + V_3 - V_4$$

Výpočet molární koncentrace celkových siřičitanů ve víně:

$$n_{KI_3} = n_{SO_3^{2-}}$$

$$c_{KI_3} \cdot V_{KI_3} = c_{SO_3^{2-}} \cdot V_{SO_3^{2-}}$$

$$c_{SO_3^{2-}} = \frac{c_{KI_3} \cdot V_{KI_3}}{V_{SO_3^{2-}}}$$

kde:

$c_{KI_3}$  – přesná koncentrace odměrného roztoku  $KI_3$  (najdeme na lahvi s odměrným roztokem)

$V_{KI_3}$  – spotřeba odměrného roztoku  $KI_3$

$c_{SO_3^{2-}}$  – molární koncentrace celkových siřičitanů ve víně

$V_{SO_3^{2-}}$  – objem vzorku vína odebraného k titraci

Hmotnostní koncentrace celkového oxidu siřičitého ve víně ( $c_{m,SO_3^{2-}}$ ) vypočítáme podle rovnice:

$$c_{m,SO_3^{2-}} = c_{SO_3^{2-}} \cdot M(SO_2)$$

kde:

$$M(SO_2) = 64,06 \text{ g mol}^{-1}$$

### Poznámka:

Víno bez oxidu siřičitého se nedá prakticky vyrobit. Při běžné koncentraci volného oxidu siřičitého ve víně je tato látka zdravotně nezávadná. Pouze ve velmi vysoké koncentraci ve víně může způsobit bolesti hlavy. Koncentrace volného oxidu siřičitého by neměla překročit hranici 50 mg/l. Celková povolená koncentrace  $SO_2$  závisí na druhu vína a obsahu zbytkového cukru, pohybuje se v rozmezí 100–400 mg/l.

## Není barva jako barva, aneb hrátky s chromatografií

### Pomůcky:

Kádinky, skleněné tyčinky, nůžky, hnědá fixa.

### Chemikálie:

Líh (ethanol).

## Postup:

### Před zahájením práce:

1. Vzpomeňte si, co se asi stane, když vám na papír, který je popsán fixou nebo inkoustem kápne nějaká kapalina, třeba voda. Popište z vlastní zkušenosti, k čemu dojde.

2. K dispozici máte kus křídly, na které je nakreslená čára hnědou fixou. Co předpokládáte, že se stane, když křídou s fixou ponoříme jednou stranou do kádinky s lihem? Zformulujte vlastní hypotézu.

### Experiment s fixou:

1. Prakticky provedte experiment, jehož hypotézu jste zformulovali v předchozím bodě. Křídou s fixou ponořte do kádinky, ve které je asi 1cm vrstva lihu a líh nechejte vzlínat do té doby, než budete schopní potvrdit/vyvrátit hypotézu (ale aspoň 10 minut). Zapište, co se stalo a porovnejte to s vaší hypotézou.

2. Experiment, který jste právě provedli je základem pro metodu dělení směsí zvanou chromatografie. Popište vlastními slovy její princip.

3. Nyní v libovolném zdroji vyhledejte princip chromatografie, napište jej a porovnejte, v čem jste se trefili a v čem nikoliv. Nezapomeňte uvést, ze kterého zdroje jste čerpali.

### **Zelené listy – jsou skutečně zelené?**

1. Než začnete experimentovat, popište, co se děje s listy stromů na podzim.

2. Jaká barviva podle vás listy obsahují? Stačí, když uvedete jejich barvu.

3. Navrhňte experiment, kterým byste prokázali, která barviva jsou v listech obsažená. Napište pracovní postup a nevynechejte žádný krok. Náповěda: Dobře se podívejte, co je k dispozici za pomůcky. Mimochodem, barviva v listech se dobře rozpouštějí v lihu.

### **Experiment se zelenými listy**

1. Podle postupu, který jste popsali se pokuste dokázat, zda a jaká barviva jsou přítomna v listech. Popište, k jakým výsledkům jste došli.

2. Jak byste na základě toho, co vám vyšlo, modifikovali pracovní postup? Popište, co byste podruhé udělali jinak.

## **Závěr**

1. Zformulujte závěr z dnešní práce.

## Výroba krému

Krémy jsou směsi tuků určené k použití na kůži, na kterou mají pozitivní účinek. Krémy mají emulzní bázi (olej ve vodě – přímá emulze nebo voda v oleji – obrácená emulze). Emulzní základ se skládá ze tří částí – olejové fáze, vodné fáze a emulgátoru, který udržuje rovnováhu mezi olejovou a vodnou fází, a proto musí být lehce rozpustný alespoň v jedné z fází. Druh emulgátoru má také vliv na povahu výsledného krému. Pro delší životnost krému se v průmyslové výrobě často navíc přidávají konzervační látky, které zabraňují vzniku plísní, a zvlhčovače (např. glycerin nebo propylenglykol). Pokud mají směsi olejovou bázi namísto emulzní báze, nazýváme je masti.

Krémy nachází svoje využití zejména v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu (léčivo se přidává do té fáze, ve které je rozpustné). Více se zde uplatňují emulzní báze typu olej ve vodě, protože báze typu voda v oleji jsou z dlouhodobého hlediska fyzikálně nestabilní. Uplatnění ale nacházejí jako krémy s chladivým účinkem, který je způsoben pomalým odpařováním vodné fáze (tzv. mizející krémy). Báze typu olej ve vodě obsahují parafínové alkoholy, které mají hydratační účinky.

### Pomůcky:

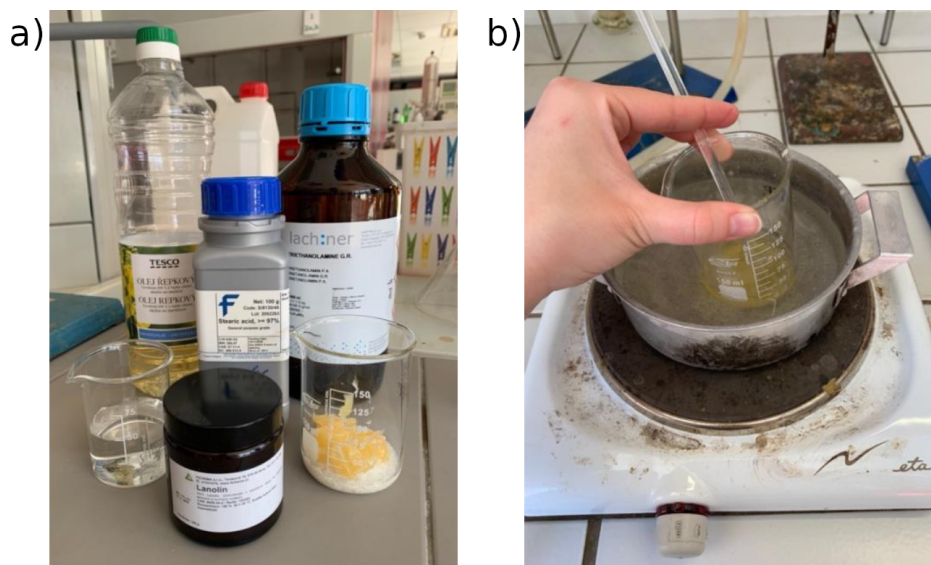
Dvě kádinky (100ml a 150 ml), nádoba na vodní lázeň, vaříč, skleněná tyčinka.

### Chemikálie:

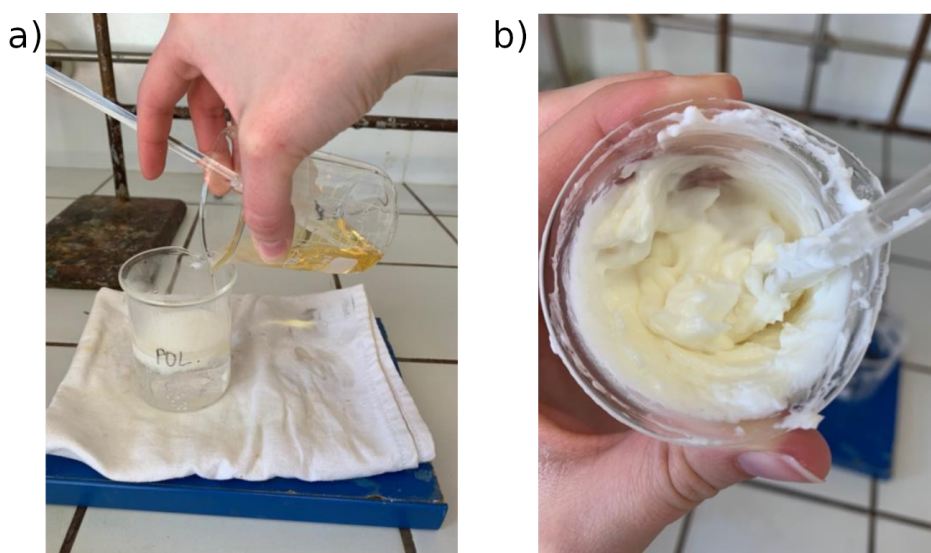
Triethanolamin ( $C_6H_{15}NO_3$ ), kyselina stearová ( $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ ), lanolin, olej, voda.

### Postup:

1. V kádince o objemu 100 ml smíchejte všechny nepolární složky, tedy **10 g** kyseliny stearové, **8 g** lanolinu a **10 ml** oleje.
2. V kádince o objemu 150 ml smíchejte všechny polární složky, tedy **50 ml** vody a **2 ml** triethanolaminu.
3. Začněte zahřívat vodní lázeň, do které umístíte kádinku s nepolárními složkami (pomocť si můžete laboratorními kleštěmi). Skleněnou tyčinkou míchejte obsah kádinky do doby, než se všechny složky rozpustí, poté vyjměte kádinku z vodní lázně.
4. Do vodní lázně umístěte kádinku s polárními složkami a zahřívejte ji po dobu **5 minut** za občasného promíchání tyčinkou.
5. Po vyjmutí kádinky z vodní lázně pomalu nalijte nepolární složku do kádinky s polární složkou.
6. Směs intenzivně míchejte skleněnou tyčinkou a pozorujete vznik krému. Vzniklý krém můžete aromatizovat esenciálními oleji.



**Obr. 46:** (a) Výchozí látky pro přípravu krému. V kádince jsou naváženy polární a nepolární složky krému. (b) Rozpuštění nepolárních složek za zahřívání ve vodní lázni.



**Obr. 47:** (a) Nalévání nepolární složky do kádinky s polární složkou. (b) Kádinka s výsledným krémem.

**Poznámka:**

Během zahřívání kádinky s polární složkou se může stát, že nepolární složka začne v kádince opět tuhnout. Před smícháním složek je proto nutné obsah kádinky s nepolárními složkami opět zahřát ve vodní lázni, dokud se všechny složky znovu nerozpustí.

## Ovlivnění chemické rovnováhy podmínkami

Vratné reakce po dostatečně dlouhé době dospějí do stavu chemické rovnováhy, kdy se rychlost přímé reakce a zpětné reakce vyrovnají. Z pohledu termodynamiky v rovnováze nedochází ve směsi ke změně Gibbsovy reakční energie a  $\Delta G = 0$ . Složení směsi reagujících látek v chemické

rovnováže vystihuje rovnovážná konstanta  $K$ . Pro danou reakci, teplotu a tlak je její hodnota stálá bez ohledu, jaké bylo složení reakční směsi na počátku.

Bohužel se vyskytují reakce, jejichž rovnováha není výrazně posunuta směrem k produktům ani reaktantům, což stěžuje například praktické využití této reakce. Nevýhodná pozice rovnováhy znamená nižší výtěžek produktu reakce izolovaného z rovnovážné směsi. Složení rovnovážné směsi však je možné změnit vnějším zásahem, například odebráním nebo přidáním látky, změnou tlaku nebo teploty, a tím získat více produktu.

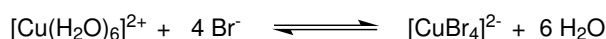
Efekt změny podmínek na složení rovnovážné směsi na přelomu 19. a 20. století studoval Henri Le Chatelier, který vyslovil obecný princip, podle kterého systém v rovnováze reaguje na změnu podmínek dosažením jiné rovnováhy tak, aby změna ve složení směsi působila proti vnější změně. Je potřeba dobře rozlišovat zásahy, které zachovávají hodnotu  $K$  a vedou jen ke změně ve složení směsi, a změny, které mění hodnotu  $K$  a následně i složení reakční směsi. Změna tlaku a přidání nebo odebrání reagujících složek ze směsi zachovává hodnotu  $K$ . Naopak změna teploty ovlivní hodnotu  $K$ .

Klasickým pokusem, který ukazuje posun chemické rovnováhy v reakci na změnu teploty nebo koncentrace látek účastnících se reakce, je reakce  $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  s chloridovými anionty. Ve vodném roztoku kobaltnatých iontů a chloridových aniontů existuje následující komplexotvorná rovnováha:



Hydratovaný kobaltnatý kationt má růžovou barvu, bezvodý kobaltnatý kationt podobně jako další komplexní sloučeniny  $\text{Co}^{2+}$  je modrý. Změna barvy směsi tak může naznačit, kterým směrem se rovnováha posouvá. Při experimentu je potřeba začít s roztokem, který obsahuje obě látky v podobném množství a barva roztoku je směsí barev reaktantu a produktu.

Tento klasický experiment vyžaduje použití kobaltnatých solí, které jsou problematické s ohledem na toxicitu (jsou například inhalačními karcinogeny). Jako vhodnější alternativa se nabízí analogický experiment s koordinací měďnatého kationu halogenidovými aniony ve vodném roztoku.



I v tomto případě má výchozí vodou koordinovaný kation jinou barvu než produkt.

## Rovnovážná tvorba tetrachloridokobaltnatanového aniontu

### Pomůcky:

Odměrný válec (25 ml), odměrná baňka (25 ml), malá nálevka, váženka, kádinky, skleněná tyčinka, špachtle, pasturovy pipety, zkumavky, stříčka.

### Chemikálie:

Hexahydrát chloridu kobaltnatého, konc. kyselina chlorovodíková, demineralizovaná voda.

### Postup:

1. Navažte **3,00 g**  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a látku nasypete do nálevky umístěné v ústí odměrné baňky. V odměrném válci odměřte **12 ml** konc. kyseliny chlorovodíkové a touto kyselinou chlorid kobaltnatý do baňky spláchněte. Zbytky chloridu kobaltnatého z váženky a nálevky spláchněte demineralizovanou vodou. Mícháním rozpusťte všechn chlorid kobaltnatý, roztok doplňte vodou po rysku a opět promíchejte.

2. Část připraveného roztoku v kádince za míchání zředte vodou tak, aby došlo ke změně jeho barvy na fialovou, mezi modrou a růžovou. Roztok rozdělte do čtyř zkumavek.
3. Část připraveného roztoku vložte do ledové lázně a sledujte barevnou změnu při jeho ochlazování. Následně roztok můžete vyjmout a opět pozorujte barevnou změnu.
4. Část připraveného roztoku vložte do vodní lázně vyhřáté na 90 °C a sledujte barevnou změnu.
5. K části zředěného roztoku přidejte několik krystalů  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , roztok zamíchejte a pozorujte barevnou změnu.
6. K další části zředěného roztoku přidejte několik kapek koncentrované kyseliny chlorovodíkové, roztok zamíchejte a pozorujte barevnou změnu.

## Rovnovážná tvorba tetrabromidomědnatanového aniontu

### Pomůcky:

Váhy, odměrný válec (10, 25 nebo 50 ml), kádinky (50 a 100 ml), skleněná tyčinka, stojan na zkumavky, zkumavky, stříčka s demineralizovanou vodou, kádinka nebo nádoba na horkou vodní lázeň a ledovou lázeň.

### Chemikálie:

Pentahydrát síranu měďnatého, konc. kyselina bromovodíková (40 až 48 %), demineralizovaná voda, sůl kamenná kuchyňská (NaCl).

### Postup:

1. V kádince o objemu 100 ml rozpustěte za míchání **3 g**  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  ve **20 ml** demineralizované vody.
2. Z roztoku oddělte cca 3 ml do zkumavky. K roztoku přidejte 5 ml koncentrované kyseliny bromovodíkové a roztok promíchejte. V nadbytku bromidových iontů v roztoku převládá tetrabromidomědnatanový anion. Pozorujte a poznamenejte si barvu roztoku tohoto iontu.
3. Z roztoku připraveného v prvním bodě odeberte **15 ml** do kádinky o objemu 50 ml. K roztoku přidejte **cca 5 ml** koncentrované kyseliny bromovodíkové a roztok tyčinkou promíchejte. Výsledný roztok by měl mít tmavě zelenou až zeleno-hnědou barvu. Pokud je stále světle zelený, přidávejte opatrně malá množství koncentrované kyseliny bromovodíkové. Pokud je příliš tmavý, roztok opatrně zředte demineralizovanou vodou.
4. Připravený roztok rovnoměrně rozdělte do čtyř zkumavek a zkumavky označte čísly 1–4.
5. V kádince nebo misce připravte ledovou lázeň smícháním ledu a kuchyňské soli. Do lázně vložte první zkumavku s roztokem a po několika minutách pozorujte barevnou změnu.
6. Na vařiči nebo míchače s ohřevem si připravte lázeň s horkou vodou. Do této lázně vložte druhou zkumavku a po několika minutách pozorujte barevnou změnu.
7. Obsah třetí zkumavky zředte demineralizovanou vodou na dvojnásobný objem a roztok promíchejte. Pozorujte barevnou změnu.



- Čtvrtou zkumavku ponechejte za laboratorní teploty. Barevné změny nastalé v předchozích třech bodech porovnávejte s tímto roztokem.
- Zkumavky 1 a 2 vyjměte z horké i ledové lázně a vložte je do kádinky s vodou, která má laboratorní teplotu a počkejte, až se teplota roztoku ve zkumavkách vyrovná s teplotou lázně. Pozorujte barevné změny.
- Nakonec k roztoku ve čtvrté zkumavce přidejte několik kapek koncentrované kyseliny bromovodíkové, roztok zamíchejte a pozorujte barevnou změnu.

#### Doplňující otázky:

- Uveďte pozorovanou barvu  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  a  $[\text{CuBr}_4]^{2-}$  ve vodném roztoku. Odpověď můžete doprovodit fotografií.
- Svá pozorování a navržené závěry shrňte v následujících tabulkách.

Provedená změna	Směr posunu složení rovnovážné směsi
	$[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + 4 \text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{CoCl}_4]^{2-} + 6 \text{H}_2\text{O}$
Zředění vodou	
Ochlazení	
Zahřátí	
Přídavek HCl	
Přídavek $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	

Provedená změna	Směr posunu složení rovnovážné směsi
	$[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} + 4 \text{Br}^- \rightleftharpoons [\text{CuBr}_4]^{2-} + 6 \text{H}_2\text{O}$
Zředění vodou	
Ochlazení	
Zahřátí	
Ochlazení teplého roztoku na laboratorní teplotu	
Ohřátí studeného roztoku na laboratorní teplotu	
Přídavek HBr	

- Jsou barevné změny vyvolané zahřátím a ochlazením roztoku vratné? Co vaše tvrzení podporuje?
- Vysvětlete změnu v zastoupení výchozí látky a produktu po přídavku vody ke směsi, když koncentrace všech přítomných látek tímto zředěním klesnou stejným způsobem. Platí pro reakce obou kationů.

5. Uveďte, zda jsou reakce v uvedeném směru exotermní nebo endotermní. Svě tvrzení zdůvodněte.
6. Uveďte dva příklady nevratné chemické reakce.
7. Rozklad  $\text{CaCO}_3$  na  $\text{CaO}$  a  $\text{CO}_2$  je silně endotermní reakce, při teplotě  $800\text{ }^\circ\text{C}$  je rovnovážný tlak  $\text{CO}_2$  nad pevným  $\text{CaCO}_3$  a  $\text{CO}_2$  jen  $0,22\text{ atm}$ . Vysvětlete, jak je možné zajistit, aby ve vápenkách proběhla reakce s úplnou přeměnou  $\text{CaCO}_3$  na  $\text{CaO}$  a  $\text{CO}_2$ .

#### **Poznámka:**

Experiment s měďnatými kationty a  $\text{HBr}$  lze analogicky provést i s  $\text{HCl}$ . Barevné změny při komplexaci chloridů jsou však ve srovnání s bromidy méně výrazné.

## **Příprava alternativního inkoustu ze zeleného čaje**

Existuje velké množství postupů pro přípravu alternativních inkoustů, mezi nejznámější patří inkoust využívající hálky žlabatky dubové, které jsou mezi laickou veřejností známé jako duběnky. Pro přípravu inkoustu však lze použít i jiný materiál, jako je třeba zelený čaj. Zelený čaj obsahuje velice pestrou směsici látek jako jsou například polyfenoly nebo kofein. Pro přípravu inkoustu jsou však důležitější látky nazývané taniny (někdy nazývané třísloviny), které mohou po přidání vhodných iontů vytvořit černě zbarvený roztok, který lze použít jako alternativu k inkoustům dostupným v papírnictví.

#### **Pomůcky:**

Dvě kádinky (400ml), kádinka (250ml), kádinka (100ml), chemická lžička, váhy, vařič nebo elektromagnetická míchačka s ohřevem, 2 skleněná tyčinky, filtrační aparatura (filtrační kruh, nálevka, filtrační papír), odměrný válec (100ml), odměrný válec (10 ml), špejle a nůž.

#### **Chemikálie:**

Heptahydrát síranu železnatého (zelená skalice), zelený čaj, arabská guma a červené víno.

#### **Postup:**

1. Ve velké kádince (400 ml) zahřejte 250 ml vody, do které vsypejte 35 g arabské gumy.
2. Získanou směs za občasného promíchávání nechte stát asi 1 hodinu.
3. Připravte si 2 sáčky zeleného čaje, nebo navážte přibližně 4 g sypaného zeleného čaje.
4. V kádince (400 ml) dejte vařit 200 ml vody, do které následně vhoďte čaj, a vařte směs po dobu 5 minut.
5. Nechte čaj mírně vychladnout a poté proveďte filtraci přes smotek vaty.
6. Než dojde k přefiltrování čaje, připravte si v kádince (100 ml) roztok zelené skalice z přibližně 3,5 g heptahydrátu síranu železnatého a 50 ml vody.
7. Roztok zelené skalice míchejte tyčinkou do úplného rozpuštění, poté ponechte roztok několik minut stát.

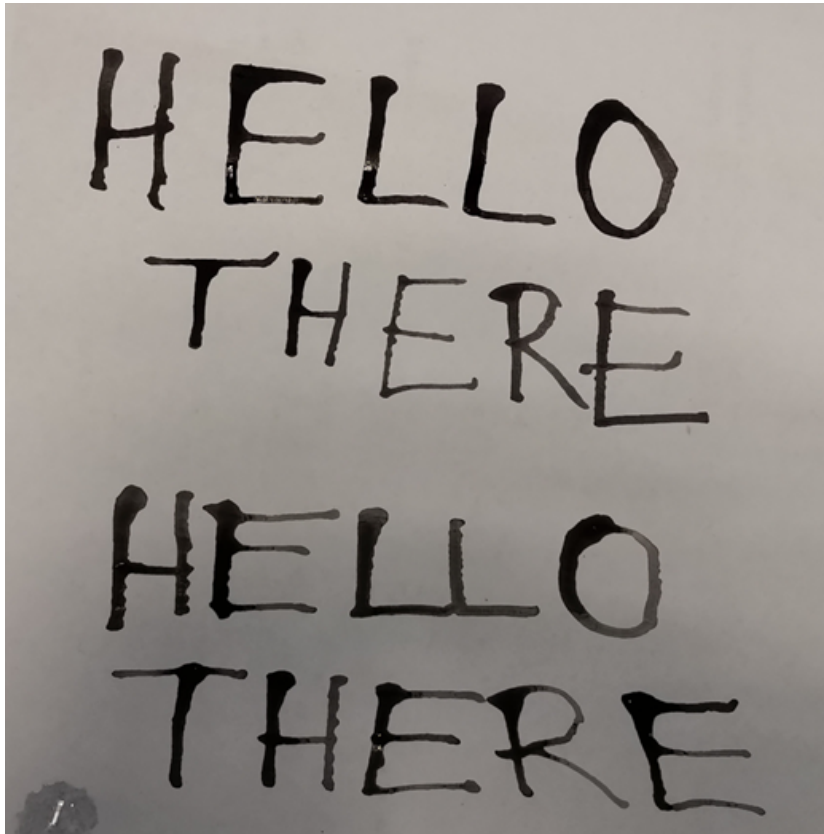
8. Do přefiltrovaného čaje vlijte 30 ml roztoku arabské gumy a 15 ml červeného vína. Směs zamíchejte.
9. Následně přidejte 15 ml roztoku zelené skalice a vzniklou směs důkladně promíchejte.
10. Před použitím nechte inkoust minimálně 15 minut stát.
11. Pomocí naostřené špejle můžete připraveným inkoustem zkusit psát na kancelářský papír.

#### **Poznámky:**

- Připravený roztok arabské gumy je vhodné využít pro více skupin pracujících na úloze, aby se předešlo zbytečnému plýtvání.
- Při použití sáčkového čaje je možné vynechat filtraci, pokud není připravený čaj příliš znečištěn úlomky čajových lístků.
- Pokud provádíme filtraci čaje, dochází poměrně rychle k zanesení filtračního papíru nečistotami a celý proces se tím výrazně zpomaluje. Proto může být vhodné v polovině filtrace vyměnit filtrační papír za nový.
- Roztok zelené skalice začíná po stání na vzduchu žloutnout. Tato změna není závadou a mírně nažloutlý roztok je možné použít.
- Pokud není dostupné červené víno a arabská guma, je možné přidání těchto komponent vynechat.
- Pokud není barva inkoustu dostatečně intenzivní, je vhodné přidat několik mililitrů roztoku zelené skalice a několik minut počkat.



**Obr. 48:** Vzorek inkoustu v kádince.



Obr. 49: Nápis na kancelářském papíře provedený pomocí připraveného inkoustu.

**Doplňující otázky:**

1. Uveďte, jakou funkci v připraveném inkoustu má arabská guma.

## Experimenty s polyfenoloxidasami

Polyfenoloxidasa (PPO) je obecné označení pro enzym vyskytující se v některých vybraných druzích ovoce (například jablka) nebo zeleniny (brambory). Tento enzym katalyzuje oxidaci polyfenolů obsažených v rostlinném materiálu a v následném sledu reakcí dochází ke tvorbě tmavých pigmentů, což se projevuje zhnědnutím povrchu brambory nebo jablka. Vzhledem k tomu, že zhnědnutí ovoce je nežádoucím jevem, jsou vyhledávány inhibitory, které by tuto reakci zpomalily nebo úplně zastavily. Pomocí polyfenoloxidas však nemusíme katalyticky oxidovat pouze polyfenoly v přírodním materiálu, ale můžeme ji využít při oxidaci pyrokatecholu.

### Chemikálie a materiál:

Siřičitan sodný, kyselina askorbová (vitamin C), pyrokatechol, brambora (středně velká), jablko.

### Pomůcky:

3 kusy kádinky (150 ml), nůž, 3 kusy pinzety, 3 kusy Petriho misky, 4 ks zkumavky, stojan na zkumavky, kuchyňské struhadlo, velká třecí miska s tloučkem, odměrný válec (10 ml), 4 ks kádinky (25 ml nebo 50 ml), vařič.

### Postup:

*Sledování účinků PPO v přírodních materiálech:*

- Do první kádinky připravte 2% vodný roztok siřičitanu sodného (přibližně 50 ml).
- Do druhé kádinky připravte 2% vodný roztok kyseliny askorbové (přibližně 50 ml).
- Do třetí kádinky odlijte 50 ml vody.
- Bramboru a jablko omyjte a zbavte případných nečistot.
- Oba biologické objekty nakrájejte na plátky o tloušťce 0,5 cm.
- Vzorky co nejrychleji vložte do připravených roztoků v kádinkách a nechte je inkubovat minimálně 5 minut.
- Po uplynutí této doby vzorky vytáhněte vzorky pomocí pinzety na Petriho misky.
- Vzorky si můžete pro porovnání vyfotografovat.
- Pro porovnání proveďte kontrolu vzorků po 1 hodině a následující den.

*Katalytická oxidace pyrokatecholu:*

- V kádince připravte 1% vodný roztok pyrokatecholu (přibližně 10 ml).
- Do další kádinky si připravte 2% vodný roztok siřičitanu sodného (přibližně 10 ml roztoku).
- Do třecí misky nalijte přibližně 20 ml vody a do takto připravené třecí misky nastrouhejte polovinu umyté brambory.
- Směs ve třecí misce roztírejte a promíchávejte pomocí tloučku alespoň 5 minut.

- Směs dekantujte do čisté kádinky (vzorek A). Pokud je potřeba, můžete směs ještě přefiltrovat.
- Odeberte asi 10 ml filtrátu (vzorku A) do kádinky.
- Tento vzorek alespoň 5 minut povařte a nechte vychladnout na teplotu laboratoře (vzorek B).
- Do zkumavky číslo 1 odměřte 2 ml vody a pomocí kapátka přidejte 7 kapek vzorku A.
- Do zkumavky číslo 2 odměřte 2 ml připraveného roztoku pyrokatecholu, přidejte kapátkem 8 kapek roztoku siřičitanu sodného a 7 kapek vzorku A.
- Do zkumavky číslo 3 odměřte 2 ml připraveného roztoku pyrokatecholu a 7 kapek vzorku B.
- Do zkumavky číslo 4 odměřte 2 ml připraveného roztoku pyrokatecholu a 7 kapek vzorku A.
- Obsah zkumavek pozorujte několik minut a případné změny si zaznamenávejte.

#### **Doplňující informace pro učitele:**

- Vzorky po ukrojení je vhodné co nejrychleji vhodit do inkubačních roztoků, aby vzorek zbytečně nebyl vystaven působení vzdušného kyslíku.
- Bramboru je nezbytné strouhat do vody, protože jinak dochází k velmi intenzivnímu hnědnutí způsobenému enzymem katalyzovanou reakcí, což by mohlo ovlivnit výraznost barevné změny při reakci s pyrokatecholem.
- Samotná reakce po přidání katalyzátoru probíhá poměrně rychle (první změny jsou patrné během několika málo minut), proto je reakce v přítomnosti nedenaturovaného enzymu a substrátu (pyrokatecholu) až v poslední zkumavce.

## **Sledování hydrolýzy škrobu za katalýzy amylasou z pšenice**

Amylasa je hydrolytickým enzymem, který dokáže katalyzovat štěpení glykosidových vazeb ve škrobu, čím vznikají kratší řetězce zvané maltodextriny, případně disacharid maltosa nebo monosacharid glukosa. Nejznámějším místem výskytu amylasy jsou sliny, avšak tyto enzymy nalezneme v klíčících semenech rostlin, kde pomáhají rozložit zásobní škrob, aby byla zajištěna výživa vyvíjejícího se embrya.

#### **Chemikálie a materiál:**

Bramborový škrob, vodný roztok  $KI_3$  (Lugolův roztok) o koncentraci  $c = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ , pšenice (naklíčená semena).

#### **Pomůcky:**

Třecí miska s tloučkem, 4 ks kádinky (100 ml), skleněná tyčinka, vařič/elektromagnetická míchačka s ohřevem, odměrný válec (50 ml), chemická lžička, kapkovací destička, 3 ks kapátka nebo Pasteurovy pipety, stopky nebo hodinky.

### Postup:

1. V kádince smíchejte cca **1 g** bramborového škrobu (jedna menší lžička) s **50 ml** vody. Směs krátce povařte a vzniklý škrobový maz nechte vychladnout.
2. Ve třecí misce rozdrťte **15 až 20** klíčících semen pšenice, která následně zalijte **25 ml** demineralizované vody. Směs důkladně rozetřete. Vzniklý extrakt převedte do kádinky a nechte přibližně **20 minut** stát. Následně pevné částice z extraktu odstraňte filtrací přes smotek vaty.
3. Do třetí kádinky odvážte **3 až 5 g** (zhruba 2 velké lžičky) škrobového mazu, který zředíte **50 ml** demineralizované vody.
4. Na kapkovací destičku kápněte pomocí kapátka **1 kapku** Lugolova roztoku a přidejte k ní **2 kapky** demineralizované vody. Do této kapky přikápněte **1 kapku** zředěného škrobového mazu.
5. Do nové kádinky odeberte **20 ml** zředěného škrobového mazu, ke kterému přidejte přibližně **5 ml** extraktu z klíčících semen.
6. Roztok nechte inkubovat při laboratorní teplotě a občasně jej promíchejte.
7. Na kapkovací destičku připravte opět **1 kapku** Lugolova roztoku a zředte ji **2 kapkami** demineralizované vody.
8. Po **5 minutách** odeberte kapátkem vzorek z inkubované směsi s enzymem a ke zředěnému Lugolovu roztoku na kapkovací destičce přidejte **1 kapku** této směsi. Porovnejte s reakcí (zabarvením) zředěného škrobového mazu bez enzymu a zaznamenejte si pozorování, případně poříďte fotografii.
9. Postup z bodů číslo 7 a 8 opakujete po **10 minutách**, po **20 minutách** a po **30 minutách** od přidání extraktu s enzymem.

### Doplňující informace pro učitele:

- Semena pšenice je nutné nechat naklíčit několik dní před experimentem, ale obvykle se první klíčky na semenech objevují již po 2 až 3 dnech. Pro klíčení postačí Petriho miska s důkladně navlhčenou vatou.
- Lugolův roztok je sám o sobě hodně tmavý, což může komplikovat rozeznání barevné změny. Tomuto problému lze předejít mírným zředěním Lugolova roztoku (viz zde přidávání vody ke kapce roztoku), nebo jej můžeme naředit dopředu přibližně v poměru 1 ml Lugolova roztoku ku 4 ml vody.

## Tajný inkoust z kyseliny salicylové

Kyselina salicylová byla svého času využívána jako lék na horečku a bolesti hlavy, než byla postupně nahrazena kyselinou acetylsalicylovou. Soli kyseliny salicylové se nazývají salicyláty. Tyto soli je možné připravit například reakcí kyseliny acetylsalicylové s vodným roztokem uhličitánu sodného. Salicyláty jsou známé svou schopností tvořit barevné sloučeniny se železitými kationty, čehož lze využít pro tvorbu tajného inkoustu.

### Chemikálie a materiál:

Kyselina salicylová nebo léčivo obsahující jako aktivní látku kyselinu acetylsalicylovou (Aspirin, Acylpyrin, Algirin. . . ), uhličitan sodný, kyselina octová (5%), hexahydrát chloridu železitého, ethanol.

### Pomůcky:

Třecí miska s tloučkem, 2 ks chemické lžičky, 2 ks skleněné tyčinky, laboratorní váhy, odměrný válec (100 ml), vaříč, nebo elektromagnetická míchačka s ohřevem, kádinka (250 ml), kádinka (150 ml), vatová tyčinka (případně rozprašovač), filtrační papír.

### Postup:

1. Do kádinky o objemu 250 ml navážte přibližně 2,0 g hexahydrátu chloridu železitého, který rozpustíte ve 125 ml 5% vodného roztoku kyseliny octové.
2. **Pokud máte kyselinu salicylovou:**
  - (a) Do kádinky (150 ml) navážte 2,0 g kyseliny salicylové, kterou rozpustíte ve 30 ml demineralizované vody. Roztok není potřeba dále upravovat.
  - (b) Do roztoku můžete přidat 1,9 g uhličitanu sodného, což ovlivní výslednou barvu tajného písma, které pak bude červené.
3. **Pokud nemáte kyselinu salicylovou – použití léčivého přípravku:**
  - (a) Ve třecí misce rozdrťte 4 tablety léčivého přípravku s kyselinou acetylsalicylovou na jemný prášek.
  - (b) Do kádinky si navážte 1,9 g bezvodého uhličitanu sodného, ke kterému přisypte rozdrcený léčivý přípravek.
  - (c) K sypké směsi přidejte 40 ml vody a důkladně promíchejte.
  - (d) Směs nechte reagovat přes noc za laboratorní teploty, nebo ji můžete opatrným zahříváním na elektromagnetické míchačce přivést k varu. Směs vařte přibližně 5 minut a po ukončení zahřívání směs nechte vychladnout.
  - (e) Pokud se v roztoku vyskytnou sraženiny nebo jiné nečistoty, směs přefiltrujte pomocí filtrační aparatury.
4. Roztok připravený z kyseliny acetylsalicylové (nebo salicylové) naneste smotkem vaty na špejli na papír a nechte důkladně vyschnout.
5. Po zaschnutí tajné písmo vyvolávejte přetřením (nebo postříkáním pomocí rozprašovače) připraveným roztokem železité soli.

### Doplňující informace pro učitele:

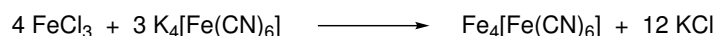
- Při přípravě kyseliny salicylové, respektive její sodné soli, z léčivého přípravku je nutné dbát na několik věcí. Zaprvé, tyto tablety obsahují řadu přidaných látek, které pravděpodobně zůstanou nerozpuštěné a mohou tvořit sraženiny či zákal v roztoku. Větších částice této sraženiny se po chvíli usazují a je možné jejich odstranění dekantací. Zadruhé, při zahřívání roztoku je potřeba dbát zvýšené opatrnosti, při příliš prudkém zahřívání by mohl roztok vykypět z kádinky. Zatřetí, hydrolýza kyseliny acetylsalicylové probíhá i samovolně bez zahřátí, nicméně tento proces probíhá pomalu, proto je nezbytné při volbě této přípravy nechat reakci probíhat několik hodin (nejlépe do druhého dne).



- Pokud není k dispozici železnatá sůl, je možné využít například zelenou skalici (2 g do 125 ml 5% kyseliny octové). Kationty  $\text{Fe}^{2+}$  se postupně oxidují na kationty  $\text{Fe}^{3+}$ . Pro urychlení oxidace je možné použít roztok chlornanu sodného (běžně dostupný v čistících prostředcích pro domácnost – Savo), který přidáme k roztoku železnaté soli a oxidace je téměř okamžitá. Nevýhodou je velmi nepříjemný zápach čistícího prostředku.
- Čistou kyselinu salicylovou lze rozpustit i v ethanolu (2 g kyseliny salicylové do 30 ml ethanolu). Práce s ethanolickým roztokem přináší řadu výhod. Vodný roztok po zaschnutí nechává stopu ve formě zvlněného filtračního papíru, k čemuž u ethanolického roztoku nedochází. Druhou výhodou je výrazně rychlejší zasychání v porovnání s vodným roztokem.
- V případě, že pracujeme s čistou kyselinou salicylovou, je zajímavé si všimnout vlivu přídavku uhličitanu sodného na barvu písma. Pokud roztok kyseliny salicylové obsahuje přídavek uhličitanu, vzniklé písmo má červenou barvu. Pokud připravíme roztok bez uhličitanu, je výsledné písmo fialové.

## Příprava berlínské modři

Berlínská modř (známá také jako pruská, braniborská nebo pařížská modř) je historicky první syntetický pigment o složení  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , kde  $x$  je 12–16. K jejím hlavním výhodám patří malá toxicita, nízká cena, intenzivní barva a vysoká stabilita na slunečním světle. Historicky byla berlínská modř vyráběna oxidací hexakynoželeznanů, my však k její přípravě použijeme reakci hexakynoželeznanu draselného (žluté krevní soli) s nadbytkem železitých kationtů.



Berlínská modř má stejné složení jako tzv. Turnbullova modř, jen se liší metodou přípravy (např. reakcí železnatých iontů s hexakynoželezitanem). Trochu odlišná barva pigmentů je způsobena odlišnými nečistotami a velikostí částic.

Berlínská modř byla poprvé připravena na začátku 18. století a již v první polovině tohoto století byla používána jako barva uniforem pruských vojáků. Další zajímavostí je, že se používá v lékařství jako antidotum při otravách těžkými kovy.

### Chemikálie:

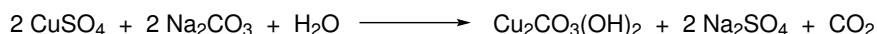
Hexahydrát chloridu železitého, hexakynoželeznan draselný, ethanol.

### Postup:

- V kádince o objemu  $50 \text{ cm}^3$  připravte nasycený roztok chloridu železitého rozpuštěním **3,7 g** hexahydrátu chloridu železitého v **5  $\text{cm}^3$**  demineralizované vody.
- V další kádince o objemu 25 nebo  $50 \text{ cm}^3$  připravte nasycený roztok **1,39 g** hexakynoželeznanu draselného v **5  $\text{cm}^3$**  vody.
- Nalijte za míchání roztok hexakynoželeznanu draselného do roztoku chloridu železitého.
- Odsajte vzniklou sraženinu pomocí Büchnerovy nálevky. Sraženinu na filtru promyjte dvakrát vodou a následně ethanolem.
- Produkt můžete vysušit na vzduchu nebo ve vakuové sušárně.

## Příprava malachitu

Malachit je minerál s chemickým složením  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  (bazický uhličitan měďnatý). Naleziště malachitu se nacházejí na různých místech světa. Jedná se o sekundární minerál vzniklý působením vodných roztoků oxidu uhličitého nebo uhličitanů na primární minerály, které obsahují měď. Malachit byl využíván jako pigment již ve starověkém Egyptě. V této úloze malachit připravíme reakcí vodného roztoku měďnaté soli s mírným nadbytkem uhličitanu sodného.



### Chemikálie:

Pentahydrát síranu měďnatého, uhličitan sodný, ethanol.

### Postup:

- V kádince o objemu  $150 \text{ cm}^3$  rozpustíte **6,2 g** pentahydrátu síranu měďnatého ve **25  $\text{cm}^3$**  demineralizované vody.
- V další kádince o objemu  $150 \text{ cm}^3$  rozpustíte **2,9 g** uhličitanu sodného ve **25  $\text{cm}^3$**  demineralizované vody.
- Za intenzivního míchání pomalu přidejte roztok uhličitanu sodného k roztoku síranu měďnatého. Pozor, reakční směs bude intenzivně pěníť.
- Vložte kádinku s reakční směsí do ledové lázni a nechte ji chladit po dobu **30 minut**.
- Odsajte vzniklou sraženinu pomocí Büchnerovy nálevky. Sraženinu na filtru promyjte dvakrát vodou a následně ethanolem.
- Produkt můžete vysušit volně na vzduchu nebo ve vakuové sušárně.

## Výroba barev z pigmentů

Barva je hmota, která je přilnavá k podkladu a která se nanáší na předmět za účelem jeho ochrany a ke změně barevných vlastností povrchu. Nejdůležitějšími složkami barvy jsou pigment a pojivo. Pigment je látka, která je v pojivu nerozpustná, tím se liší od barviva, které se v pojivu rozpouští. Kromě těchto složek v barvě často najdeme ještě další složky, mezi něž patří rozpouštědla, emulgátory, katalyzátory, stabilizátory a další látky. Podle rozpouštědla dělíme barvy na vodové, lihové, olejové, acetonové, atd. Důležitou vlastností barvy je její adheze – přilnavost k povrchu předmětu.

Pojiva mají rozdílné chemické složení. Olejové barvy obsahují jako pojivo vysychající olej, který je bohatý na polynenasycené mastné kyseliny. Podstatou tuhnutí (vysychání) oleje je reakce nenasycených mastných kyselin se vzdušným kyslíkem, která vede k tvorbě organických hydroperoxidů. Tyto peroxidy následně iniciují radikálovou polymeraci molekul s násobnými vazbami. Často je využíván lněný olej, který se tradičně ředí terpentýnem, lze ale použít i jiné uhlovodíky. Temperové barvy mohou jako pojivo obsahovat koncentrovaný roztok bílkovin. Historicky se k tomuto účelu využívaly například vaječné žloutky.

## Příprava olejové barvy

### Chemikálie:

Lněný olej, terpentýnový olej, pigmenty.

### Postup:

- Připravte pojivo olejové barvy smísením  $10 \text{ cm}^3$  lněného oleje s  $20 \text{ cm}^3$  terpentýnového oleje.
- Ve třecí misce důkladně rozmělněte zvolený pigment. K pigmentu pak po malých částech přidávejte pojivo a směs míchejte. Ukončete přidávání pojiva v okamžiku, kdy bude mít směs očekávanou konzistenci.
- Hmotu přemístěte z třecí misky do vhodné nádoby pomocí lžičky a špachtle.

## Příprava temperové barvy

### Chemikálie:

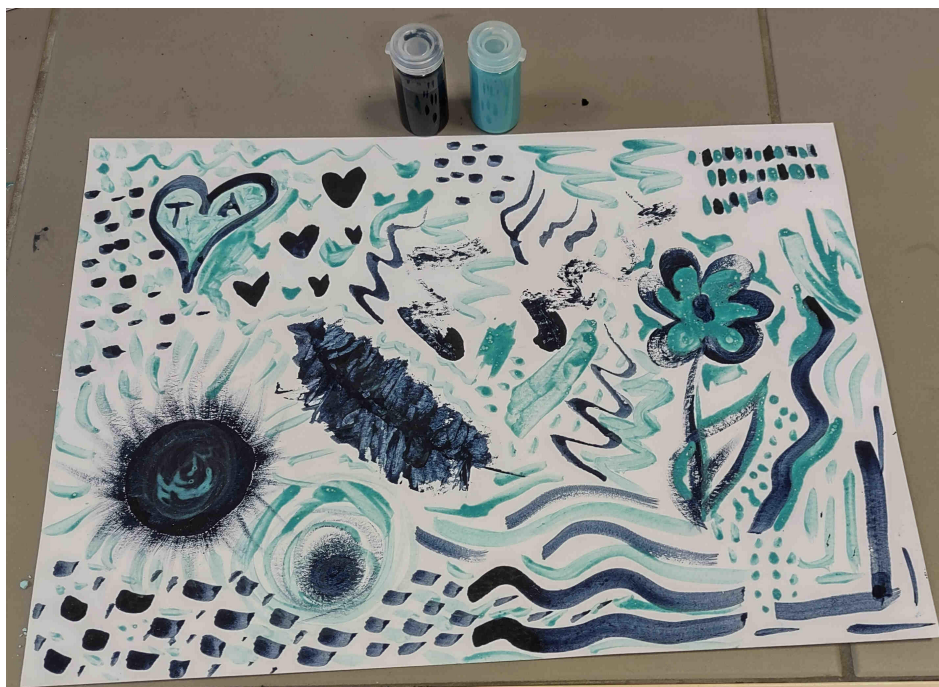
Slepičí vejce, pigmenty.

### Postup:

- Zvážené množství pigmentu důkladně rozetřete v třecí misce.
- Oddělte vaječný žloutek od bílku. Můžete případně použít papírovou utěrku k odstranění bílku z povrchu žloutku.
- Ostrým předmětem (např. párátkem) propíchněte blánu na povrchu žloutku a obsah žloutku nalijte do kádinky nebo jiné vhodné nádoby.
- K rozetřenému pigmentu v třecí misce přidejte vodu ( $1 \text{ cm}^3$  vody na jeden gram pigmentu). Směs promíchejte, aby vznikla pastovitá hmota.
- Ke směsi v třecí misce přidejte žloutek ( $1$  až  $1,5 \text{ cm}^3$  žloutku na gram pigmentu). Směs důkladně zamíchejte. Vzniknout by měla hmota konzistence majonézy.
- Hmotu přemístěte z třecí misky do vhodné uzavíratelné nádoby pomocí lžičky a špachtle. Barvu skladujte v uzavřené nádobě.

### Poznámka

Takto připravená temperová barva by měla po nanesení na podklad uschnout do 1 až 2 minut. Po uschnutí by se také neměla odlupovat.



**Obr. 50:** Obrázky malované temperovými barvami obsahujícími syntetický malachit a berlínskou modř.

## Výpočet molární rozpouštěcí entalpie solí ve vodě

Entalpie je jednou ze základních veličin termochemie. Značí se  $H$  a její základní jednotkou je joule (J). Pro soustavu o neměnném počtu částic se entalpie definuje vztahem:

$$H = U + pV,$$

kde  $U$  značí vnitřní energii soustavy,  $p$  je její tlak a  $V$  je objem.

Jedná se o stavovou veličinu. Popisuje tedy stav termodynamického systému. Zároveň je to extenzivní veličinu, to znamená, že její hodnota závisí na velikosti systému. Další důležitou vlastností entalpie je, že nejsme schopni změřit přesnou hodnotu entalpie daného systému. Jsme však schopni změřit její změnu, která se značí  $\Delta H$ .

V této úloze se bude měřit teplo potřebné (případně uvolněné) pro rozpuštění látek ve vodě. Při rozpuštění látky ve vodě dochází k rozbití původních vazebných interakcí soli a dokonce i vody. Tento proces je endotermický a platí  $\Delta H_1 > 0$  a  $\Delta H_2 > 0$ . Následně dojde ke vzniku nových interakcí mezi částicemi v roztoku a dojde k ohřátí vody. Platí tedy  $\Delta H_3 < 0$ . Výsledná entalpie roztoku se vyjádří vztahem:

$$\Delta H_{roz} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

Znaménko  $\Delta H_{roz}$  tak může být kladné, záporné nebo dokonce 0. Předpokládáme, že po přidání soli do vody je systém tepelně izolovaný. To znamená, že rozpuštěná látka potřebnou energii (entalpii) přijme od vody, což se projeví snížením teploty směsi. Naopak případná uvolněná energie z rozpouštění se předá vodě, což se projeví vzrůstem teploty směsi. Z fyziky známe následující vztah

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta t,$$

kde  $Q$  je teplo potřebné k ohřátí soustavy v J,  $m$  je hmotnost soustavy v kg,  $c$  je měrná tepelná kapacita (pro vodu  $c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) a  $\Delta t$  je změna teploty v K. (Jelikož mají Kelvin i stupeň Celsia stejnou velikost a zde se počítá rozdíl dvou teplot, mohou se údaje o teplotě roztoku dosazovat přímo ve stupních Celsia.) Tímto vztahem se vypočítá kolik energie voda vydala, případně přijala. Následně se tato energie (s opačným znaménkem) vztáhne na jeden mol rozpouštěné látky a získá se tak molární rozpouštěcí entalpie.

### Pomůcky:

Teplotní čidlo Vernier, počítač, LabQuest, polystyrenový kelímek nebo jiná izolovaná nádoba, elektromagnetická míchačka, magnetické míchadlo, odměrný válec, váha.

### Chemikálie:

Voda,  $\text{KNO}_3$ , KI, NaCl,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , KF, případně další soli a látky.

### Postup

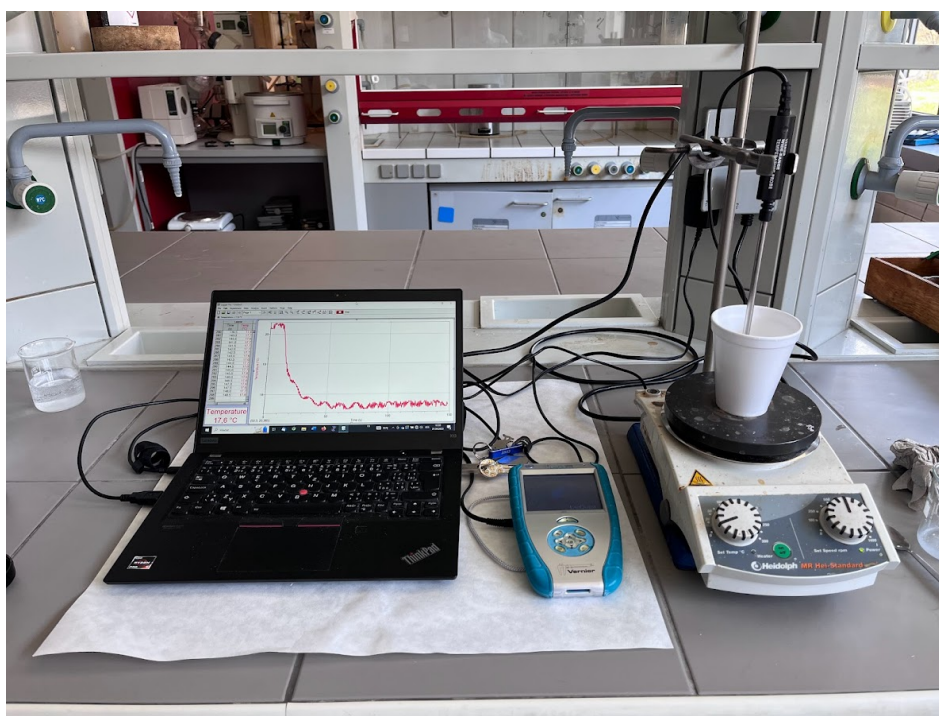
1. Sestavíme aparaturu podle obrázku 51. Na elektromagnetickou míchačku postavíme kelímek z pěněního polystyrenu. Teplotní čidlo připevníme na stojan tak, aby detektor čidla byl u dna kelímku.

- Čidlo připojíme k jednotce LabQuest a tu propojíme s počítačem. Spustíme program LoggerPro a nastavíme délku experimentu na 120 sekund. *(To je dostatečně dlouhá doba k rozpuštění soli a ustálení teploty.)*
- Do kelímku nalijeme 100 ml vody. Vodu mícháme magnetickým míchadlem na elektromagnetické míchačce po celou dobu experimentu. Navážíme si 5 g jednotlivých solí.
- Na počítači spustíme sběr dat, 5 g navážené soli přisypeme do vody v 10. sekundě experimentu. Pozorujeme změnu teploty vody.
- Po proběhnutí měření vypláchneme kelímek vodou a nalijeme do něj nových 100 ml vody. Experiment můžeme opakovat s další soli.
- Z počáteční a koncové teploty roztoku vypočítáme změnu tepla vody. Vypočítáme také látkové množství použité látky. Pak dosadíme do následujících vztahů a získáme molární rozpouštěcí entalpie solí ve vodě,  $\Delta H_{roz}^0$ .

$$\Delta Q = m_{vody} \cdot c \cdot \Delta t$$

$$\Delta H_{roz} = -\Delta Q$$

$$\Delta H_{roz}^0 = \frac{\Delta H_{roz}}{n_{soli}}$$



**Obr. 51:** Aparatura pro měření molární rozpouštěcí entalpie solí ve vodě.

### Doplňující otázky

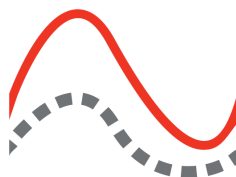
- Vypočítejte molární rozpouštěcí entalpii vámi zvolené soli. Nezapomeňte vložit graf s naměřenou křivkou závislosti teploty na čase a vámi odečtený rozdíl teploty.

2. Jak se změní teplota směsi, když vámi zvolená sůl bude naopak krystalizovat z roztoku?  
Na základě čeho lze tepelné zabarvení tohoto děje odhadnout?

## Návod pro obsluhu programu Graphical Analysis

### Spuštění programu

Pro práci s Vernierem je potřeba do počítače nainstalovat program „Vernier Graphical Analysis.“ Spustíme program.



**Obr. 52:** Ikona Graphical Analysis.

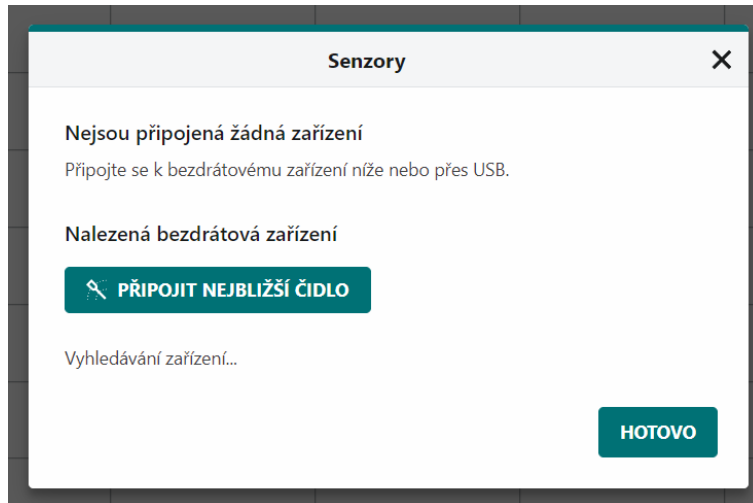
Po spuštění programu na obrazovce vyskočí následující dialogové okno:



**Obr. 53:** Dialogové okno při spuštění programu.

Pro zahájení nového experimentu klikneme na možnost „Měření pomocí senzorů“ na levé straně. Pokud bychom měli již naměřená data, která bychom chtěli upravovat, klikli bychom na pole „Vyberte soubor.“

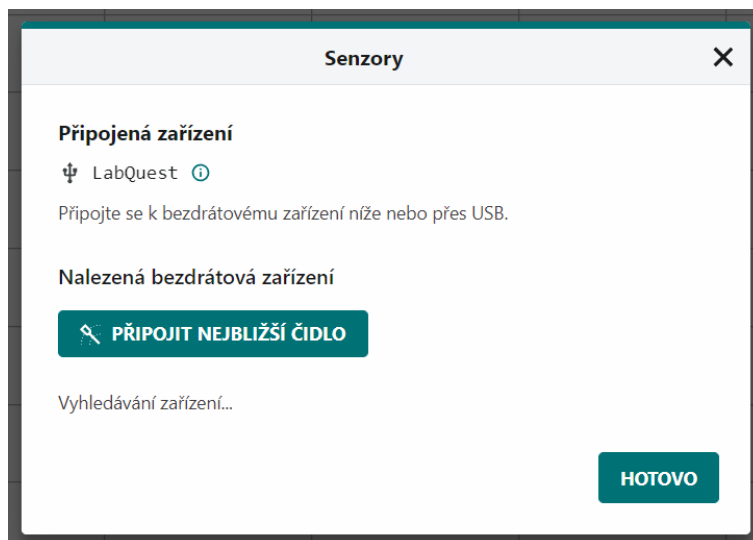
Následně na nás vyskočí další dialogové okno, že není k počítači připojeno žádné čidlo:



Obr. 54: Dialogové okno, nenalezeno čidlo.

Nyní připojíme čidlo přes jednotku LabQuest a nebo stiskneme „Hotovo“ a čidlo připojíme později. V případě používání bezdrátových čidel klikneme na možnost „Připojit nejbližší čidlo.“

Po připojení jednotky LabQuest program rozpozná, že byla jednotka připojena a hlásí tak připojení jednotky LabQuest. Pokračujeme stisknutím „Hotovo.“



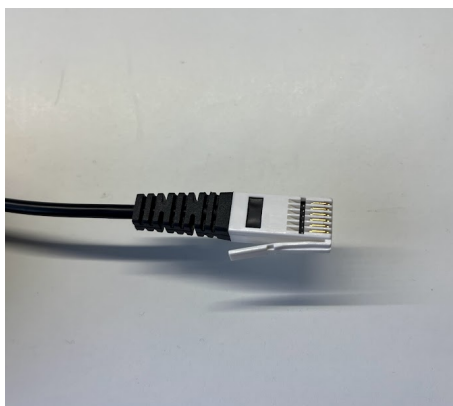
Obr. 55: Dialogové okno, rozpoznána jednotka LabQuest.

## Propojení čidel s LabQuest a počítačem

Některá čidla společnosti Vernier se připojují k počítači vyhodnocující data jednoduše pomocí kabelu s USB portem.

Jiná čidla mají následující typ portu RJ-12 speciálního typu. Ten je potřeba nejprve připojit k jednotce zpracovávající data. Tou je například LabQuest.





**Obr. 56:** Speciální typ portu RJ-12 používaný společností Vernier.



**Obr. 57:** Jednotka LabQuest.

LabQuest připojíme k napájení do elektrické sítě. Následně propojíme LabQuest kabelem s USB koncovkou k počítači. (Novější modely pomocí Bluetooth.) K jednotce LabQuest připojíme požadovaná čidla do portů CH 1 až CH 4. Jednotku LabQuest zapneme dlouhým podržením tlačítka pro zapnutí a vypnutí.



**Obr. 58:** Vstupy na porty RJ-12 na jednotce LabQuest.

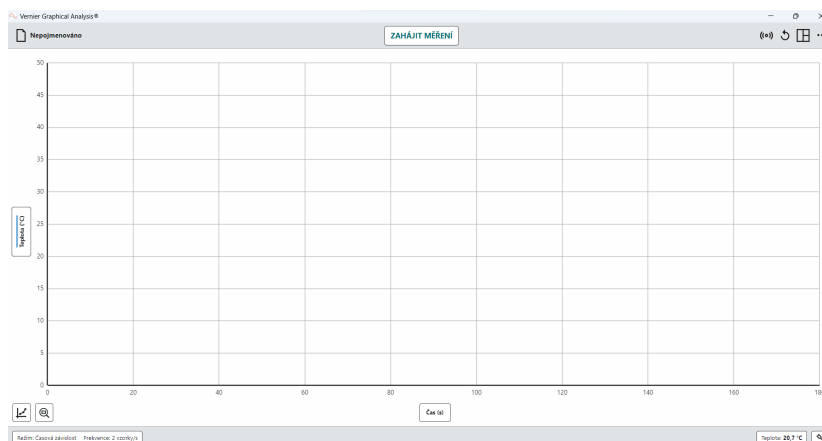
Nyní počítač zpracovává data naměřená čidly. Není potřeba žádná instalace zařízení. Program Graphical Analysis data zpracovává ihned.

Novější čidla Vernier lze k počítači připojit pomocí Bluetooth. Není tak potřeba připojovat jednotku LabQuest.

# Obsluha programu

## Ovládací prvky

Po spuštění programu a připojení čidel vidíme následující obrazovku:

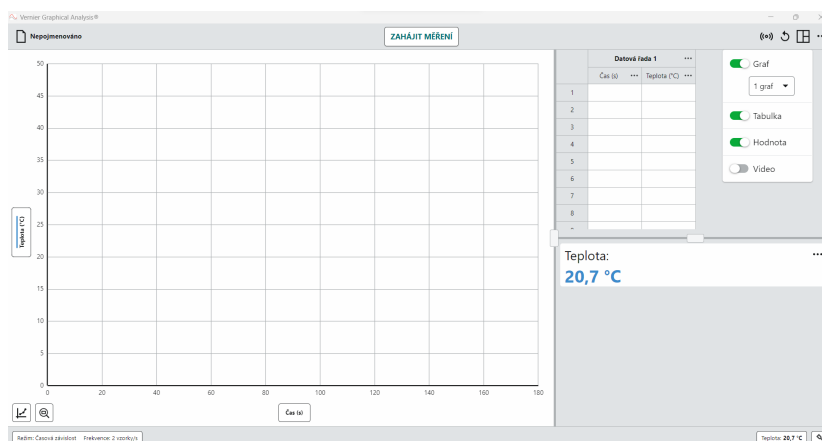


**Obr. 59:** Program Graphical Analysis po spuštění.

Na liště nahoře vlevo je napsáno „Nepojmenováno.“ po klepnutí je možné uložit měření, načíst dříve uložené měření, exportovat data (graf jako obrázek, data ve formátu csv nebo ambl, nebo pdf – v plné verzi), nebo nastavit nové měření.

Na liště nahoře uprostřed vidíme velké tlačítko „Zahájit měření.“ Tímto tlačítkem budeme spouštět experiment po nastavení všech parametrů měření.

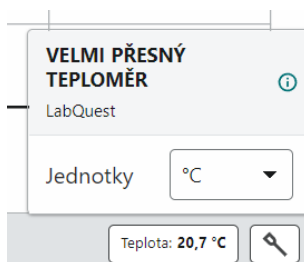
Vpravo nahoře jsou čtyři ikony: „Zapnout data sharing“ (přístupné v plné verzi), „Potvrdit přehrávání“ (přístupné v plné verzi), „Nastavit zobrazování,“ zde je možné upravit vzhled obrazovky. Je možné nastavit na polovinu obrazovky graf a na druhou polovinu tabulku se získanými hodnotami nebo i zobrazit aktuální výstup z čidel. (viz následující foto. Poslední ikona je „Nastavení.“



**Obr. 60:** V programu lze nastavit vzhled obrazovky tak, že je možné vidět graf, tabulku naměřených hodnot a aktuální hodnotu naměřenou čidlem.

Na liště vpravo dole jsou vidět dvě políčka. Levé značí připojené čidlo. V tomto případě se jedná o „Velmi přesný teploměr“ Připojený přes LabQuest. Pole hlásí, že teploměr měří teplotu 20,7 °C.

Při kliknutí na toto políčko se dozvíme podrobnější informace o čidle. Zároveň můžeme změnit jednotky ve kterých čidlo měří.

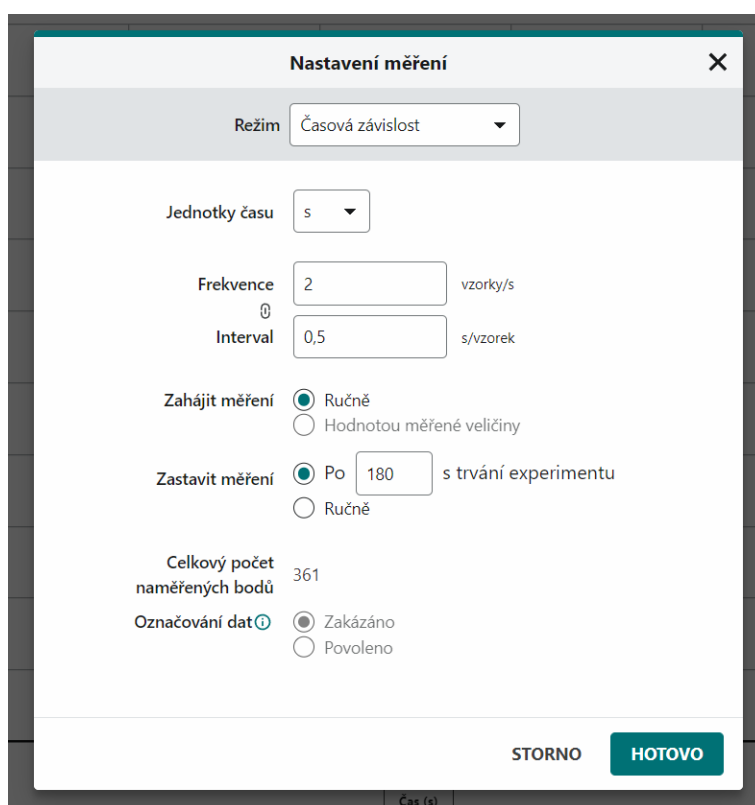


**Obr. 61:** Zde můžeme vybrat jednotky, ve kterých čidlo měří. (°C, K, °F).

Přes políčko vpravo se dostaneme do nastavení čidel.

## Nastavení měření

Do hlavního nastavení měření se dostaneme přes dlouhé políčko na liště vlevo dole, kde je nyní napsáno: „Režim: časová závislost, Frekvence: 2 vzorky/s.“ Otevře se následující okno:



**Obr. 62:** Nastavení měření Časová závislost v Graphical Analysis.

V závislosti druhu experimentu vyberete režim, v jakém budete program obsluhovat:

- Časová závislost: měří data v závislosti na čase, vykreslí se graf závislosti měřené veličiny na čase. (např. teplota na čase)
- Události a hodnoty: měří data v závislosti na námi zvolené veličině. (např. pH na přidávaném objemu činidla při titraci)

- Počítání kapek: měří data společně s počtem změřených kapek. (lze využít při titracích, pokud vlastníme Počítadlo kapek Vernier)
- Optická závora: Měří data v závislosti na změně podmětu pro optickou závoru. (použitelné pouze pokud vlastníme Optickou závoru Vernier)

Nastavení „Časová závislost“

Je možné nastavit jednotu času: (ms, s, min, h)

Je možné nastavit frekvenci vzorků (vzorky/s) resp. interval (s/vzorek). Nastavení délky měření: je možné nastavit maximální trvání měření, případně, že bude měření ukončeno ručně.

Nastavení „Události a hodnoty“

**Obr. 63:** Nastavení měření Události a hodnoty v Graphical Analysis.

Nastavíme požadovanou veličinu – například objem.

Jako jednotky pak nastavíme – V.

Po provedení nastavení se stiskne na tlačítko „Hotovo.“

## Ovládání grafu

Pomocí políček ve středu osy  $x$  a osy  $y$  je možné nastavit veličiny na těchto osách.

Na ose  $x$  vybíráme závislost, na čem bude experiment probíhat. Obvykle budeme měřit v závislosti na čase. Je možné ale vybrat jinou veličinu. (více v Nastavení měření).

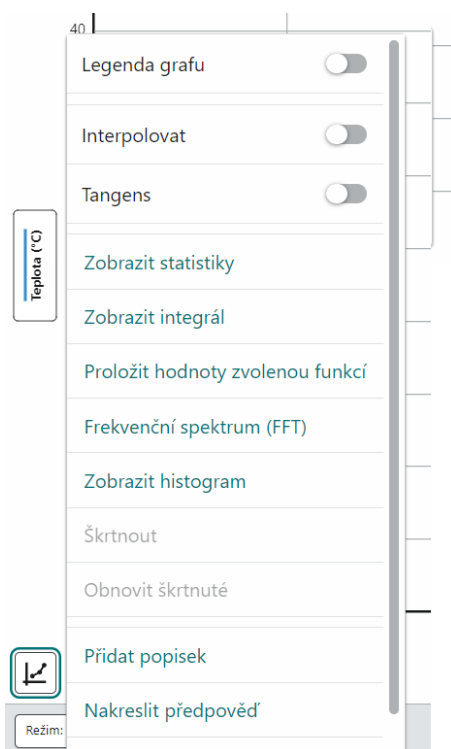
Na ose  $y$  je možné vybrat čidla, která budou zobrazovat data do grafu. Dále je možné změnit barvu datové řady a přidat i dopočítávanou veličinu, jako je například derivace naměřené křivky.



**Obr. 64:** Nastavení zobrazování dat u osy  $y$ .

V oblasti grafu vlevo dole jsou dvě políčka. Pravé políčko nastaví automatické měřítko během měření. (Graf se bude postupně oddalovat, aby byly vidět veškeré naměřené hodnoty.)

Levé tlačítko „Nastavení grafu“ se bude používat hlavně po změření nějakých dat.



**Obr. 65:** Rozbalovací okno nastavení grafu.

Zde je možné zobrazit legendu grafu, je možné interpolovat data (tj. odečíst hodnotu i z ne přímo změřených vstupů), zobrazit hodnotu tangens v daném bodě (tj. zobrazit hodnotu 1. derivace).

Dále je možné zobrazit statistiky daného měření (rozsah, počet měření, střední hodnota naměřených dat, směrodatná odchylka, minimální hodnota, maximální hodnota), zobrazit integrál (tj. plochu pod změřenou křivkou), proložit hodnoty zvolenou funkcí (lineární, kvadratickou, mocninou, exponenciálou, sinus, atd. výběr z nabídky), je možné i přidat popisek ke grafu. Ostatní funkce jsou dostupné pouze v placené verzi.

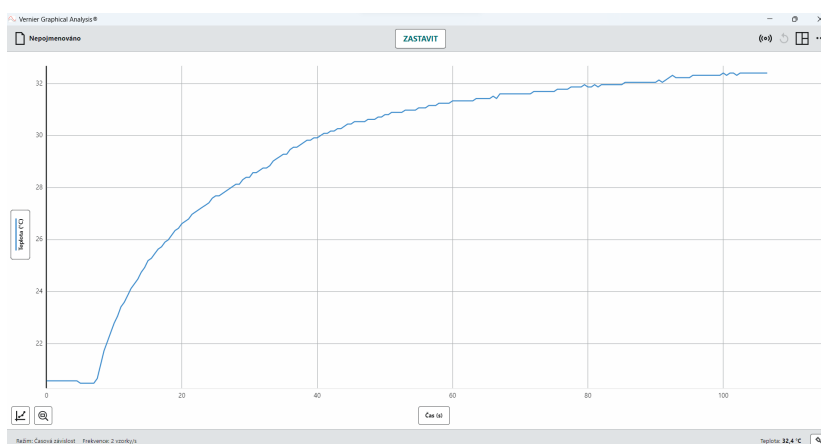
## Průběh měření

Návod pro měření v režimu Časová závislost:

Po připojení příslušných čidel a nastavení měření v programu a umístění čidel do roztoků proběhne samotné měření.

Klikneme na tlačítko „Zahájit měření“ uprostřed nahoře na liště. Program nyní zaznamenává změnu dat v závislosti na čase (pokud byla nastavena Časová závislost).

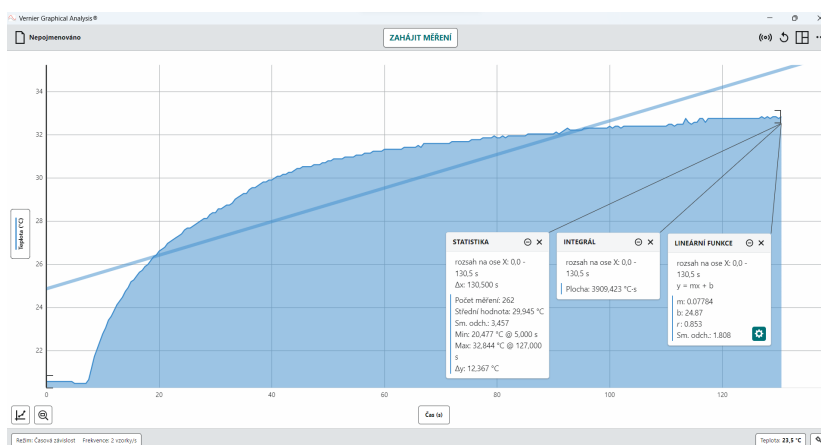
Měření poběží dokud neuplyne nastavená doba trvání měření (explicitně 180s) nebo ručně nezastavíme měření stisknutím „Zastavit“ na liště nahoře. (viz následující obrázek)



Obr. 66: Průběh měření.

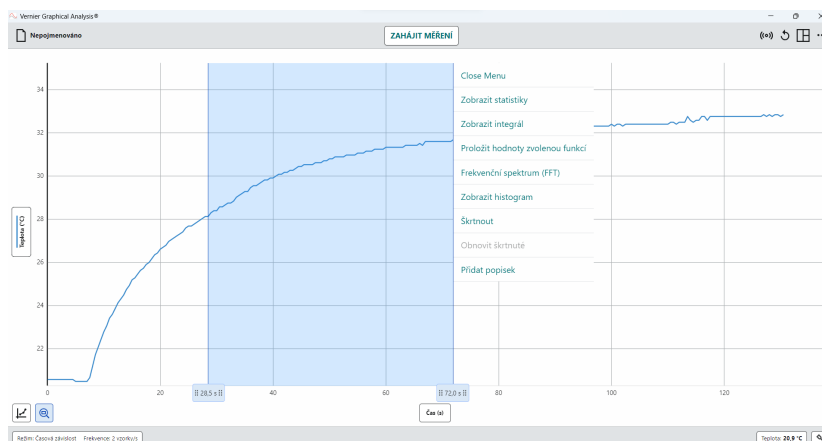
## Vyhodnocení dat

Po zastavení měření je možné zobrazit statistiky, integrál křivky, proložit křivku vybranou funkcí. Toto je možné provést přes rozpalovací okno vlevo dole v oblasti grafu „Nastavení grafu,“ jak bylo popsáno v části Ovládání grafu.



Obr. 67: Graf po měření se zobrazenými statistikami, integrálem a proloženou lineární funkcí.

Statistiky je možné získat pouze z části naměřené křivky. Levým tlačítkem myši klikneme do začínajícího místa a táhneme do místa koncového. Následně lze vyhodnotit pouze zobrazenou část grafu.



**Obr. 68:** Zobrazení statistik pouze části naměřených dat.

## Přidání křivky 1. derivace

Program umí dopočítat různé hodnoty vybraných funkcí.

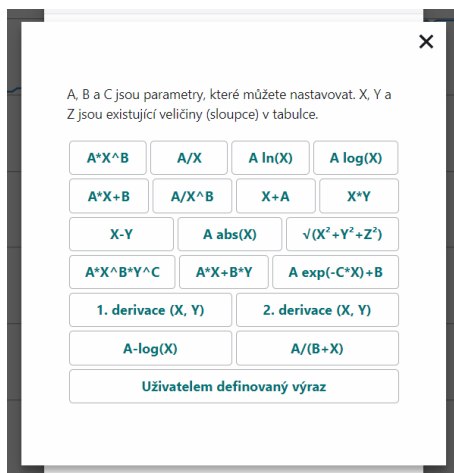
Pro přidání grafu 1. derivace křivky postupujeme následujícím způsobem:

1. Musíme mít naměřená data a ukončené měření.
2. Klikneme v oblasti grafu na políčko upravující hodnotu  $y$ . (vlevo uprostřed u osy  $y$ )
3. U příslušné datové řady klikneme na tři tečky.
4. Klikneme na „Přidat dopočítávanou veličinu“
5. Zobrazí se následující okno:

**Obr. 69:** Nastavení dopočítávané veličiny.

6. Je možné si nadefinovat různé nastavení – pojmenování veličiny, počet desetinných míst, atd.

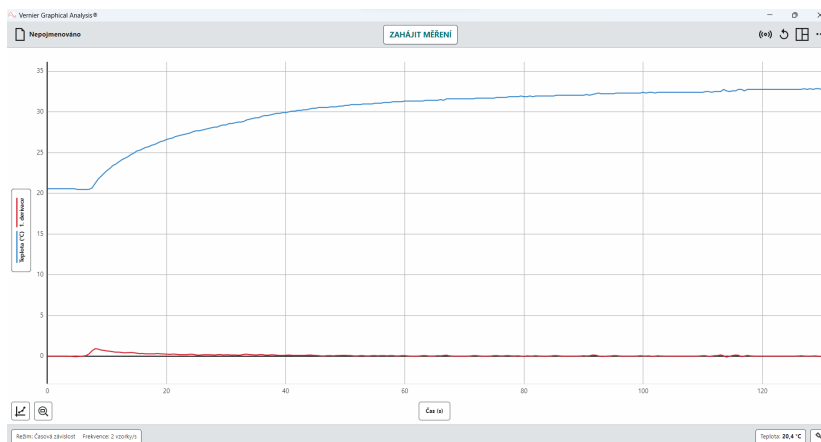
7. V oblasti Výraz klikneme na „Vložte výraz.“



**Obr. 70:** Výběr výpočtu pro dopočítávanou veličinu. Možnost uživatelem definovaný výraz je přístupná s plnou verzí.

8. Vybereme „1. derivace (X, Y).“

9. Klikneme na použít a necháme vykreslit křivku 1. derivace.

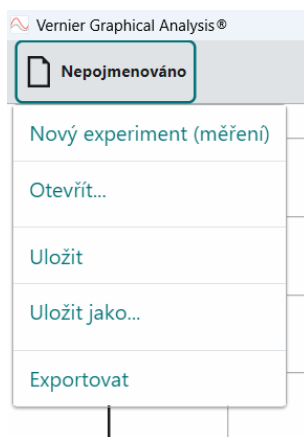


**Obr. 71:** Zobrazení grafu naměřené hodnoty a k ní dopočítané hodnoty 1. derivace.

## Uložení a export dat

Pro uložení souboru klikneme na pole v levo na hoře na liště, kde je nyní napsáno „Nepojmenováno.“





Obr. 72: Rozbalovací okno uložení a export dat.

„Nový experiment (měření)“ použijeme v případě, že chceme vyčistit plochu grafu, vymazat tak nyní naměřená data a zahájit nový experiment.

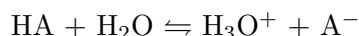
„Otevřít...“ načte dříve uložený dokument.

„Uložit“ a „Uložit jako...“ funguje standardním způsobem.

Funkce „Exportovat“ nám umožní exportovat obrázek grafu ve formátu .png, naměřené hodnoty v podobě tabulky ve formátu .csv a .ambl. V případě aktivace programu je možné navíc data exportovat ve formátu .pdf. Vždy je možné definovat způsob exportu jako je rozlišení nebo formát desetinných míst.

## Stanovení $pK_a$ karboxylových kyselin

Disociační konstanta je rovnovážnou konstantou disociační reakce. Pokud se jedná o disociaci kyseliny, značíme disociační konstantu  $K_a$  a nazýváme ji konstanta acidity. Pro bázi ji značíme  $K_b$  a nazýváme ji konstanta bazicity. Disociace kyselin a zásad v roztocích vede k ustálení protolytické rovnováhy. Pro disociaci kyselin platí následující obecná rovnice, kde  $A^-$  značí aniont kyseliny:



Konstantu acidity můžeme vypočítat z následující rovnice:

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

Hodnoty disociačních konstant kyselin a zásad lze běžně najít v tabulkách. Pomocí nich je možné určit sílu kyselin. Obvykle u slabých kyselin a zásad vychází hodnota disociační konstanty velmi malá. Používá se proto místo číselné hodnoty, záporně vzatý dekadický logaritmus této hodnoty ( $pK_a$ , resp.  $pK_b$ ). Platí, že čím je menší  $pK_a$ , resp.  $pK_b$ , tím je v roztoku více disociovaných molekul a tím je také vyšší síla kyselin a zásad.

Při stanovování  $pK_a$  středně silné kyseliny (např.  $CH_3COOH$ ) silnou bazí (např.  $NaOH$ ) bude rovnice neutralizace vypadat následujícím způsobem:



Při stanovení  $pK_a$  kyseliny octové lze vyjít z Handerson–Hasellbachovy rovnice:

$$pH = pK_a + \log \frac{c_{CH_3COONa}}{c_{CH_3COOH}}$$

kde  $c_{CH_3COOH}$  je koncentrace nedisociované kyseliny v roztoku a  $c_{CH_3COONa}$  je koncentrace vzniklé soli v roztoku. Pokud se  $c_{CH_3COONa} = c_{CH_3COOH}$ , respektive platí i  $n_{CH_3COONa} = n_{CH_3COOH}$ , pak bude platit:

$$pH = pK_a + \log 1 = pK_a + 0 = pK_a$$

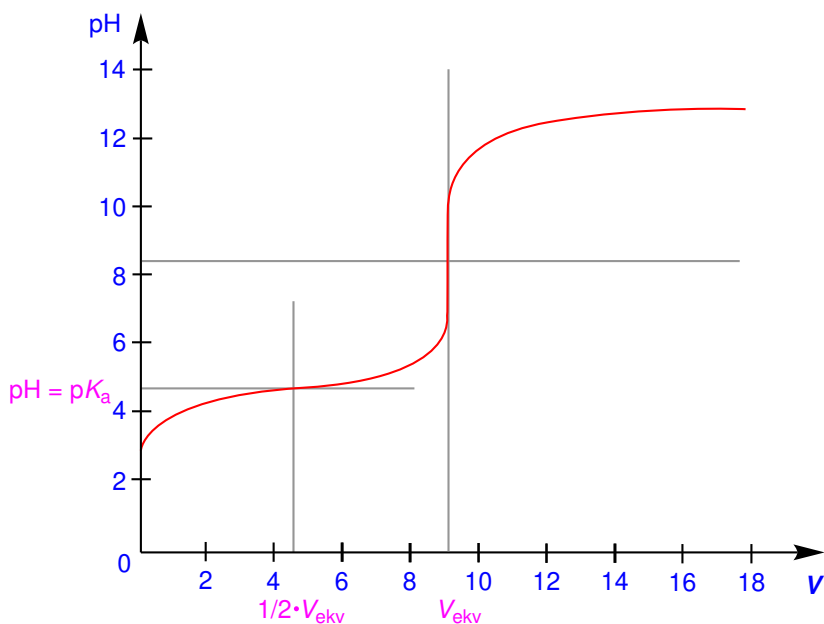
Lze si všimnout, že  $pK_a$  kyseliny má stejnou hodnotu jako pH roztoku v určitém bodě při alkalimetrické titraci kyseliny. Tento bod nastane tehdy, kdy koncentrace vzniklé soli bude stejná jako koncentrace kyseliny v titrační baňce.

Z rovnice reakce (popsané výše) je možné jednoduchým výpočtem určit, že rovnost počtu molů  $CH_3COOH$  a  $CH_3COONa$  v roztoku nastane v polovině spotřeby odměrného roztoku NaOH potřebné k nastavení bodu ekvivalence. Platí:

$$pH = pK_a \iff V_{NaOH} = \frac{1}{2} \cdot V_{ekv}$$

Nyní už stačí jen změřit titrační křivku při titraci slabé kyseliny silnou zásadou a v místě  $\frac{1}{2} \cdot V_{ekv}$  odečíst hodnotu pH a tím se získá hodnota  $pK_a$  stanovované kyseliny.

Následující obrázek ukazuje typickou titrační křivku získanou při titraci slabé kyseliny odměrným roztokem silné zásady. Na obrázku je rovněž ukázán odečet hodnoty  $pK_a$ .



### Pomůcky:

Čidlo pH Vernier Go Direct, počítač, laboratorní sklo – kádinka 150 ml, byreta 25 ml, nedělená pipeta 20 ml, elektromagnetická míchačka, magnetické míchadlo.

### Chemikálie:

Vodný roztok kyseliny octové a mravenčí ( $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ ), odměrný roztok NaOH ( $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ ).

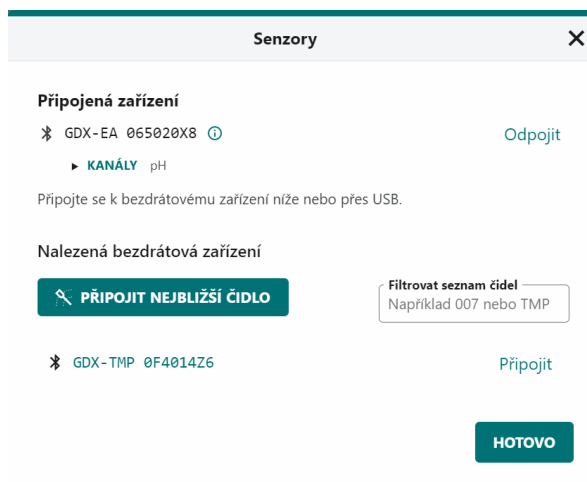
## Postup

### Připojení čidla a nastavení měření

1. Čidlo pH Vernier Go Direct připojte pomocí USB kabelu k počítači a nechte jej nabíjet asi dvě hodiny před samotným měřením.
2. Čidlo zapněte delším stiskem vypínače. Zapnutí je indikováno blikáním červené diody.
3. Na počítači spusťte program Graphical Analysis. Na úvodním okně klikněte na „Měření pomocí senzorů“.



Program vyhledá dostupná čidla a zobrazí jejich seznam, případně také automaticky připojí naposledy použité čidlo.

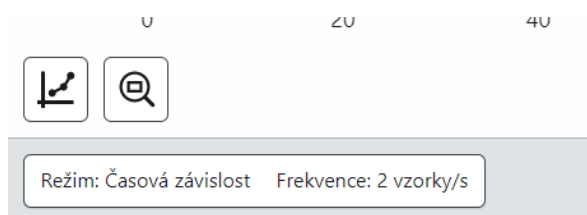


Identifikační číslo konkrétního čidla najdete na jeho štítku.

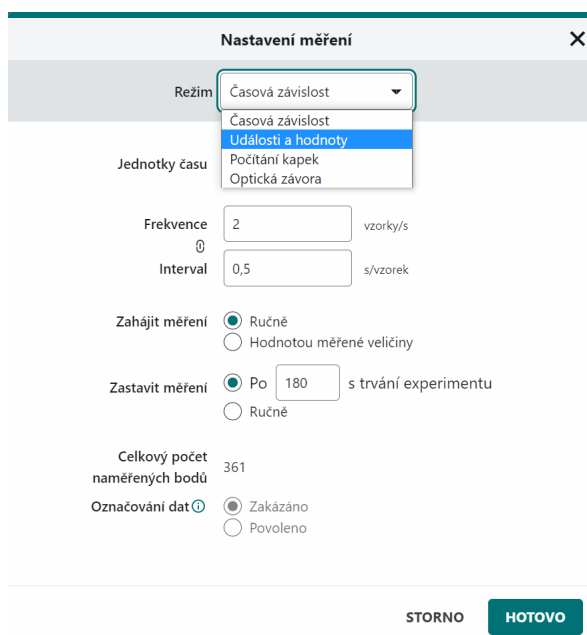


4. Provedte kalibraci čidla, pokud od poslední kalibrace uplynuly více než dva týdny. Návod je zařazen za úlohu.

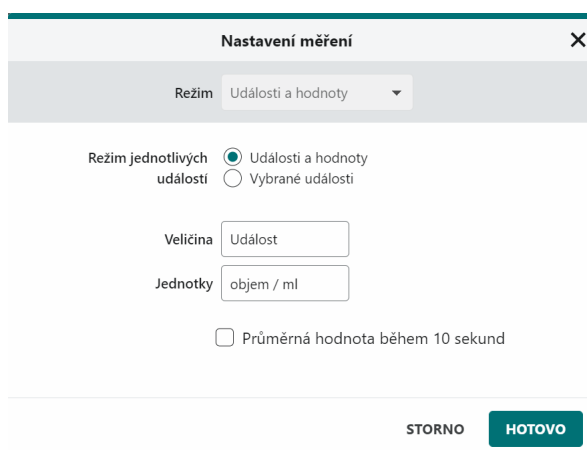
5. V levém spodním rohu klikněte na ikonu nastavení režimu měření.



V horním rozbalovacím seznamu zvolte „Události a hodnoty“.



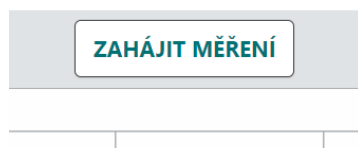
V okně označte položku „Události a hodnoty“. Do pole „Jednotky“ můžete doplnit informaci o veličině na ose  $y$  (v našem případě objem odměrného roztoku).



### Provedení měření

1. Do kádinky o objemu  $150 \text{ cm}^3$  napipetujte  $20 \text{ cm}^3$  roztoku kyseliny octové nebo mra-  
venčí o koncentraci  $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ .

- Sestavte aparaturu pro titraci podle obrázku 73. Na stojan připevníme byretu. Pod byretu umístíme zvedáček a na něj umístíte kádinku s roztokem kyseliny. Čidlo pH upevníte ke stojanu tak, aby byla měřící část čidla pod hladinou roztoku v kádince a zároveň bylo možné kádinkou míchat.
- Byretu naplňte odměrným roztokem hydroxidu sodného a hladinu nastavte na nulu.
- V programu Graphical Analysis spustíte experiment kliknutím na ikonu „Zahájit měření“ na horní liště okna.



- Zaznamenejte první bod titrační křivky – klikněte na „Zachovat“ na horní liště okna.



Do aktivní buňky v prvním sloupci tabulky запиšte celkový přidaný objem odměrného roztoku NaOH, což je v prvním bodě  $0 \text{ cm}^3$ . Hodnotu pak potvrďte („Zachovat hodnotu“).

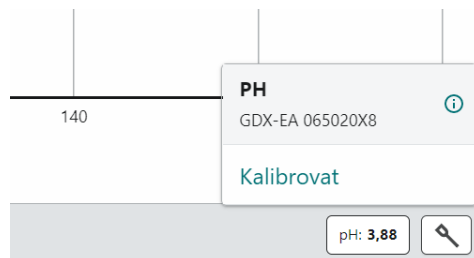
Zachovat hodnotu		
	Uděllost (0.5 ml)	pH
4	1,5	3,42

STORNO    ZACHOVAT HODNOTU

- K roztoku kyseliny v kádince přidejte z byrety  $0,5 \text{ cm}^3$  roztoku NaOH a roztok krouživým pohybem promíchejte. Následně uložte bod pomocí tlačítka „Zachovat“ na horní liště okna. Do buňky zadejte celkový přidaný objem odměrného roztoku NaOH.
- Postup opakujte až do okamžiku, kdy bude celkový přidaný objem roztoku NaOH o cca  $5 \text{ cm}^3$  vyšší, než je hodnota  $V_{ekv}$ .
- Měření ukončete kliknutím na tlačítko „Zastavit“ na horní liště okna. Naměřená data uložíme kliknutím na „Nepojmenováno“ a volbou „Uložit jako“.
- Čidlo pH vyjměte a opláchněte demineralizovanou vodou. Čidlo uchovávejte ponořené v roztoku KCl o  $\text{pH} = 4$ .
- Určete hodnotu  $V_{ekv}$ . V polovině této spotřeby odhadněte pH roztoku. Tato hodnota je rovna  $\text{p}K_A$  kyseliny.

## Kalibrace čidla pH

1. Čidlo ponořte do prvního kalibračního roztoku. V programu Graphical Analysis klikněte na ikonu v pravém dolním rohu, která ukazuje hodnotu pH. Zvolte „Kalibrovat“.



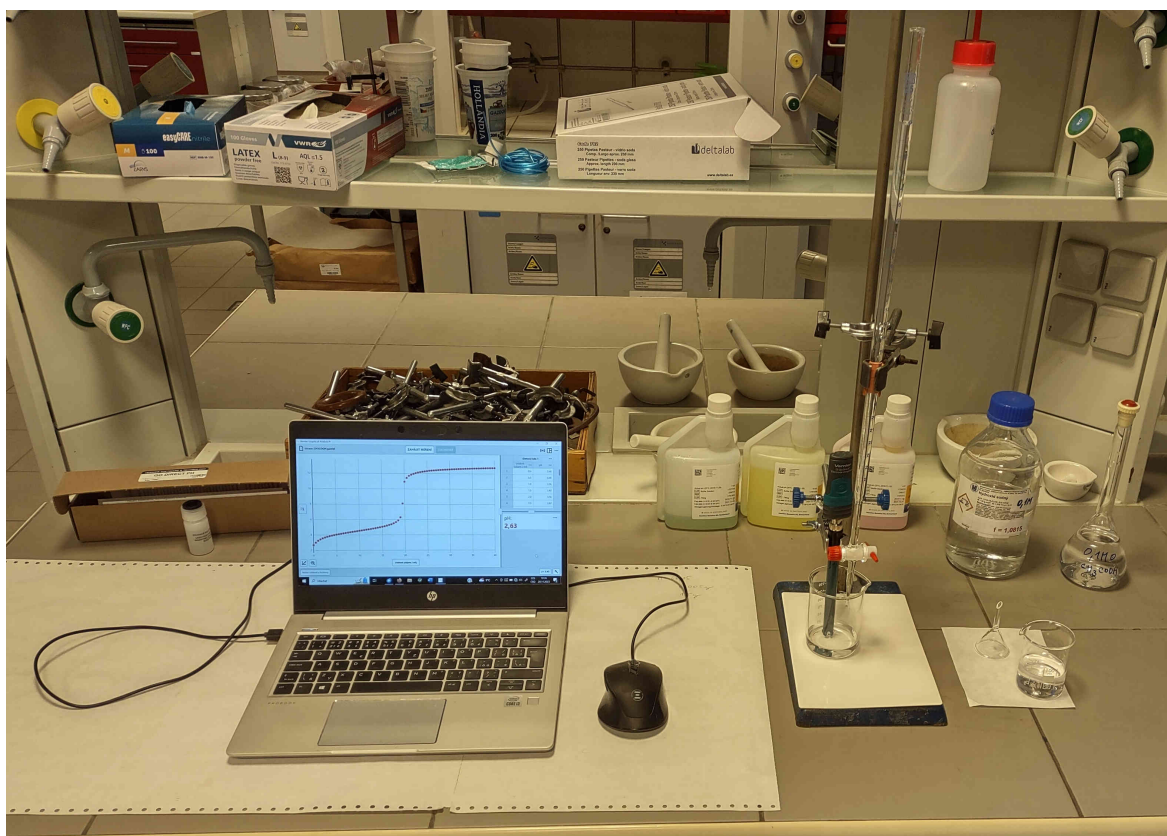
V horním rozbalovacím seznamu zvolte, zda budete provádět kalibraci se dvěma, nebo třemi kalibračními pufrů.

2. Do aktivního okna vložte hodnotu pH pufru a klikněte na „Zachovat“.

3. Čidlo vyjměte, opláchněte demineralizovanou vodou a ponořte do dalšího pufru. Postup opakujte. Kalibraci ukončete kliknutím na „Ukončit“.

## Fyzikálně-chemické vlastnosti látek:

Název	Vzorec	$M/(\text{g mol}^{-1})$	$\rho/(\text{g cm}^{-3})$
Kyselina mravenčí	HCOOH	46,024	1,22
Kyselina octová	CH <sub>3</sub> COOH	60,0516	1,055
Hydroxid sodný	NaOH	39,997	–



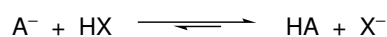
Obr. 73: Aparatura pro titraci a stanovení  $pK_a$  středně silných kyselin.

### Poznámka

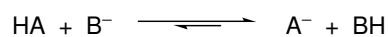
V této úloze jsme prováděli titraci slabé kyseliny odměrným roztokem NaOH, což je silná báze. Charakteristikou slabé kyseliny je, že v roztoku jen z malé části disociuje na  $H_3O^+$  a  $A^-$ . Během titrace před dosažením bodu ekvivalence byla v roztoku přítomna sůl kyseliny vzniklá neutralizací roztokem NaOH spolu s neztitrovanou kyselinou.

Rožtok, který obsahuje sůl slabé kyseliny a silné zásady spolu se samotnou slabou kyselinou, může tvořit tzv. tlumivý rožtok (puřr). Pokud to tlumivého rožtoku přidáme silnou kyselinu nebo silnou zásadu, dojde k utlumení změny pH, což znamená, že se hodnota pH rožtoku změní méně, než kdybychom stejné množství zásady nebo kyseliny přidali do stejného množství vody.

Po přidání silné kyseliny k tomuto tlumivému rožtoku dojde k přednostní protonaci konjugované báze slabé kyseliny  $A^-$ . Vzniká slabá kyselina HA, která disociuje jen z malé části, takže na rozdíl od silné kyseliny její přírůstek tolik nesníží hodnotu pH.



Po přidání silné báze naopak dojde k neutralizaci molekul HA za vzniku konjugované báze  $A^-$ . Tato konjugovaná báze ale méně bazická než silná báze, tudíž dojde ve výsledku k menšímu zvýšení hodnoty pH rožtoku.



### Doplňující otázky

1. Do grafu vynesete vámi naměřenou titrační křivku.
2. Uveďte stanovené hodnoty  $pK_a$  kyseliny mravenčí a octové a srovnejte jejich hodnotu s tabelovanými hodnotami.
3. Při titraci kyseliny mravenčí nebo octové roztokem NaOH vzniká tlumivý roztok, který brání dalšímu rychlému růstu pH. Ukažte na titrační křivce, která její část leží v tzv. pufrační oblasti.
4. Uvažujte pufr složený z vodného roztoku kyseliny octové a octanu sodného. Při jakém poměru koncentrací soli a kyseliny bude mít pufr největší kapacitu, tedy bude nejlépe bránit změnám pH po přidání silné kyseliny nebo silné báze? Jaká bude teoretická hodnota pH této směsi?
5. Hodnota pH lidské krve je udržována jiným pufrem na bázi slabé kyseliny a její soli. Uveďte o jakou kyselinu a sůl se jedná.

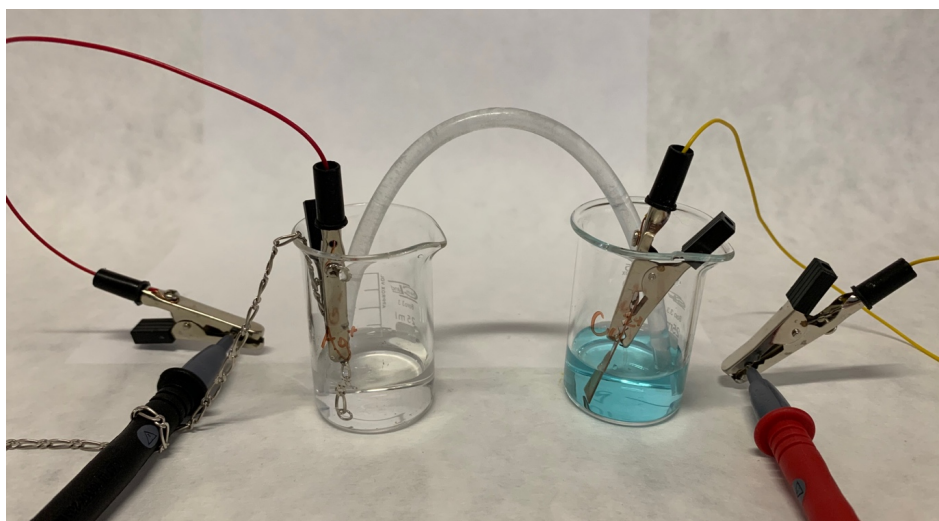


## Zařazení kovů do Beketovovy řady kovů – měření napětí elektrochemických článků

Beketovova řada kovů řadí kovy do řady dle jejich hodnot standardního elektrodového potenciálu. Pomocí těchto hodnot lze určit redoxní vlastnosti kovů – dle ní řadí kovy na dvě základní skupiny – ušlechtilé a neušlechtilé.

Dělicím milníkem je vodík (standardní vodíková elektroda). Pomocí ní se stanovuje standardní elektrodový potenciál kovů. Kovy se záporným elektrodovým potenciálem stojí nalevo od vodíku, zatímco kovy s kladným elektrodovým potenciálem stojí napravo od vodíku.

Články se budou skládat z kousku kovu jakožto elektrody ponořené do roztoku své soli. Příkladem je měděný plíšek ponořený do roztoku modré skalice. Nebudeme měřit napětí článků proti standardní vodíkové elektrodě, ale budeme měřit do kříže rozdíl napětí mezi články. Toto měření umožní seřadit kovy ve stejném pořadí jako v Beketovově řadě. Jako solný můstek mezi jednotlivými články bude sloužit nasycený roztok dusičnanu draselného.



Obr. 74: Článek  $\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})||\text{Ag}^{+}(\text{aq})|\text{Ag(s)}$ .

### Pomůcky:

Kovové elektrody (Zn, Cu, Fe, Ag, Sn, Mn, Pb), multimetr nebo voltmetr, vodič s krokosvorkami na obou koncích, PVC hadička o průměru cca 5 mm, vata, filtrační papír.

### Chemikálie:

Vodné 0,1M roztoky solí ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{+}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) – vhodné jsou dusičnany či sírany, popř.  $\text{SnCl}_2$ , nasycený vodný roztok  $\text{KNO}_3$ .

### Postup

#### Varianta s poločlánky v kádinkách

1. Připravte si menší kádinky (25 či 50 ml). Nalijte do kádinek 0,1M roztok příslušné soli, aby byla výška hladiny přibližně 1 cm. Takto si připravte kádinky se všemi roztoky.
2. Solný můstek si vyrobte pomocí PVC hadičky, kterou na jednom konci ucpěte kouskem vaty, naplňte ji pomocí kapátka nasyceným roztokem  $\text{KNO}_3$  a druhý konec následně také ucpěte druhým kouskem vaty – pozor, aby v hadičce nezůstaly bublinky.

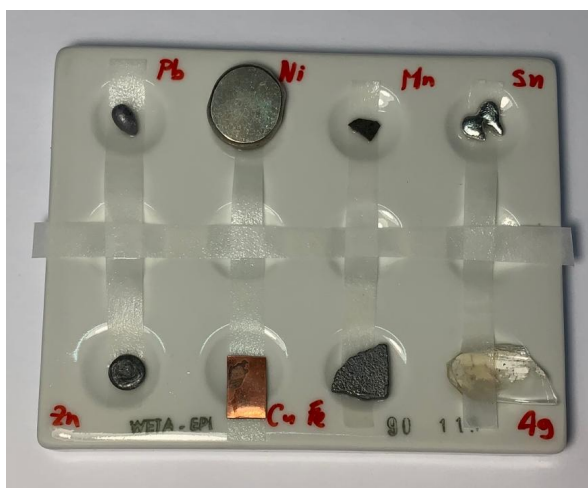
3. Propojte vždy dvojici kádinek pomocí solného můstku a vložte do roztoků příslušný kov uchycený v krokosvorce. Pozor, krokosvorka nesmí zasahovat do roztoku. Druhý konec krokosvorky připojte k sondám multimetru. Na multimetru nastavte režim měření napětí.
4. Tímto způsobem změřte napětí různých kombinací poločlánků.



Obr. 75: Měření napětí článků s poločlánky v kádinkách.

#### Varianta s poločlánky na kapkovací destičce

1. Ustříhnete čtyři kratší a jeden delší proužek filtračního papíru. Dvě protilehlé jamky na okraji destičky propojte kratšími papírky a středem papírky napříč přeložte delším proužkem, jak je zobrazeno na obrázku 76.
2. Do každé jamky vložíme příslušnou elektrodu tak, aby měla co nejlepší kontakt s koncem filtračního papíru. Poté do jamky kápněte 2–5 kapek roztoku soli daného kovu.
3. Proužky filtračního papíru navlhčete do nasyceným roztokem  $\text{KNO}_3$ . Proužky budou soužit jako solné můstky.
4. Následně pomocí multimetru proměřte napětí pro různé kombinace poločlánků. Na multimetru nastavte režim měření napětí.



Obr. 76: Měření napětí článků s poločlánky na kapkovací destičce.

### Varianta s poločlánky na plastové podložce

1. Vystříhnete čtyři pruhy filtračního papíru a vytvoříte z nich „hvězdu“ na plastové nevodivé podložce (obrázek 77).
2. Na konce proužků položte kousky kovů, které budou sloužit jako elektrody.
3. Na konce proužků naneste několik kapek 0,1M roztoků příslušných solí. Roztoky budou do papíru vsakovat, neměly by ale nasáknout až ke středu papírku.
4. Do středu „hvězdy“ neneseme několik kapek nasyceného vodného roztoku  $\text{KNO}_3$  tak, aby došlo k vodivému spojení poločlánků na koncích papírových proužků.
5. Následně pomocí multimetru proměřte napětí pro různé kombinace poločlánků. Na multimetru nastavte režim měření napětí.



**Obr. 77:** Měření napětí článků s poločlánky na plastové podložce.



**Obr. 78:** Stříbrné elektrody vyrobené postříbřením Petriho misky pomocí Tollensova činidla a formaldehydu.

## Vyhodnocení:

Vyberte si jeden článek, vůči kterému budete měřit napětí ostatních poločlánků. Na tento článek vždy přikládejte stejný pól sondy multimetru. Doporučujeme zvolit si  $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}$  z důvodu jednoduché manipulace. Pro každý možný článek spočítejte i teoretickou hodnotu jeho napětí, kterou byste měli naměřit.

Tabelované hodnoty standardního potenciálu poločlánku jsou měřeny pro jednotkovou aktivitu iontů kovů v roztoku za standardních podmínek. V našem experimentu však pracujeme s roztoky solí o koncentraci  $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ , tudíž napětí poločlánku nebude stejné jako pro jednotkovou aktivitu. Jednoduchým výpočtem však můžeme odhadnout, jak velkou změnu naměřených potenciálů přinese použití desetkrát menší koncentrace soli.

K výpočtům použijte Nernstovu-Petersonovu rovnici, která popisuje závislost  $E$  na teplotě a aktivitě redukované (např.  $a_{\text{Cu}}$ ) a oxidované (např.  $a_{\text{Cu}^{2+}}$ ) formy. Aktivita čisté látky (kovové elektrody) je jednotková.

$$E = E^\circ + \frac{RT}{zF} \ln \left( \frac{a_{ox}}{a_{red}} \right) = E^\circ + \frac{RT}{zF} \ln (a_{ox})$$

kde  $R$  je molární plynová konstanta ( $8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ),  $z$  je počet přenesených elektronů a  $F$  je Faradayova konstanta ( $96485 \text{ C mol}^{-1}$ ). Předpokládejte, že aktivita iontu je rovna jeho molární koncentraci.

## Doplňující otázky

1. Do následující tabulky doplňte vypočtený potenciál poločlánků pro použitou koncentraci solí  $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$  při  $298 \text{ K}$ . Zhodnoťte také, jak významná je změna potenciálů poločlánků oproti jejich standardním potenciálům, která je způsobena použitím desetinné koncentrace solí. Druhý sloupec v tabulce obsahuje standardní potenciál poločlánků.

Poločlánek	$E^\circ/\text{V}$	$E/\text{V}$
$\text{Ag}^+(\text{aq}) \text{Ag}(\text{s})$	+0,799	
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \text{Zn}(\text{s})$	-0,763	
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \text{Fe}(\text{s})$	-0,441	
$\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) \text{Mn}(\text{s})$	-1,180	
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) \text{Pb}(\text{s})$	-0,126	
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \text{Cu}(\text{s})$	+0,337	
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) \text{Sn}(\text{s})$	-0,140	

2. Doplňte naměřené a očekávané hodnoty napětí článků do tabulky. Využijte hodnoty potenciálů poločlánků v tabulce výše.

Poločlánek 1	Poločlánek 2	E/V	
		Teoretická hodnota	Praktická hodnota
Cu <sup>2+</sup> (aq) Cu(s)	Ag <sup>+</sup> (aq) Ag(s)		
Cu <sup>2+</sup> (aq) Cu(s)	Zn <sup>2+</sup> (aq) Zn(s)		
Cu <sup>2+</sup> (aq) Cu(s)	Fe <sup>2+</sup> (aq) Fe(s)		
Cu <sup>2+</sup> (aq) Cu(s)	Mn <sup>2+</sup> (aq) Mn(s)		
Cu <sup>2+</sup> (aq) Cu(s)	Pb <sup>2+</sup> (aq) Pb(s)		
Cu <sup>2+</sup> (aq) Cu(s)	Sn <sup>2+</sup> (aq) Sn(s)		

### Příklad výpočtu napětí článku pro standardní napětí poločlánků:

$$E(\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})||\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}) = E^\circ(\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}) - E^\circ(\text{Zn}^{2+}(\text{aq})|\text{Zn(s)})$$

$$E(\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})||\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu(s)}) = 0,337 \text{ V} - (-0,763 \text{ V}) = 1,100 \text{ V}$$

$$E(\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})||\text{Zn}^{2+}(\text{aq})|\text{Zn(s)}) = -1,100 \text{ V}$$

3. Zamyslete se nad Nernstovou rovnicí a výpočtem napětí článků a uveďte, pro které články (kombinace poločlánků) můžete jejich napětí vypočítat ze standardních potenciálů poločlánků a u kterých musíte naopak vzít v úvahu změnu potenciálu poločlánku v důsledku jiné než jednotkové koncentrace (aktivity) solí.
4. Pomocí naměřených hodnot seřadte použité kovy do elektrochemické (Beketovovy) řady kovů, tedy je seřadte podle vzrůstajícího elektrochemického potenciálu.
5. Proč v této úloze jako solný můstek využíváme nasycený roztok dusičnanu draselného a nikoliv častěji používaný chlorid draselný?

### Komentář

Jako problematické se pro tuto úlohu ukázaly tyto kovy:

- Hliník – extrémně rychle se pasivuje a nedává tedy konstantní výsledky, obecně dává 1/3 teoretické hodnoty.
- Hořčík – nedává tedy konstantní výsledky, obecně dává 1/2 teoretické hodnoty.
- Nikl – hůře se měří, hodnota napětí není stabilní.
- Chrom – hodnota napětí není stabilní.
- Železitá sůl – obecně dobře funguje železnatá sůl, ale železitá je problematická.

Pozor na čistotu železnaté soli, pokud je již mírně zoxidovaná, nedává stabilní hodnoty napětí. Jako stříbrnou elektrodu můžeme použít např. stříbrný řetízek. Levnou stříbrnou elektrodu můžeme vyrobit postříbřením kousku skla (např. Petriho misky) pomocí Tollensova činidla a následným rozbitím skla. Jako železnou elektrodu lze využít kancelářskou svorku či železný hřebík, které pomocí HCl zbavíme ochranné vrstvy. Případně lze zakoupit čisté železo (<https://svetprvku.cz/12-prvky/>).

Lze doporučit vyčištění zoxidované elektrody drátěnkou nebo zředěnou kyselinou chlorovodíkovou.

## Izolace enantiomerů karvonu z přírodního materiálu

Karvon je přírodní látka, chemickou podstatou nenasycený keton, která patří mezi monoterpeny. Molekula karvonu obsahuje jedno centrum chiralit, proto karvon existuje ve formě dvou enantiomerů. Je známo, že tyto enantiomery se výrazně liší svou vůní. Levotočivý (*R*)-karvon má sladkou mátovou vůni, naopak pravotočivý (*S*)-karvon vůni připomíná kmín. Jednotlivé enantiomery lze izolovat z rostlinných silic. (*S*)-Karvon je složkou silice ze semen kmínu kořeného (*Carum carvi*), ve které podle literatury tvoří 50–60 %. Druhou nejvýznamnější složkou silice kmínu je limonen (35–35 %). Dále lze (*S*)-karvon nalézt v silici kopru vonného (*Anethum graveolens*), ve které je jeho zastoupení 30–60 %. Druhý enantiomer karvonu, tedy (*R*)-karvon, tvoří až 70 % silice máty klasnaté (*Mentha spicata*) (Morcia, 2016). Druhou podstatnou složkou silice máty klasnaté je opět limonen v zastoupení asi 10 %. Další složky silice tvoří různé látky povětšinou terpenické povahy. Složení silic rostlin kolísá, například vlivem podnebí nebo jiných environmentálních faktorů (Hussain, 2010).

### OBRAZEK

Vůně rostlinných silic nemusí být vždy dána dominantními složkami silice, ale může se na ní výrazně podílet látka přítomná ve stopovém množství. Dlouho se například tradovalo, že jeden enantiomer limonenu se podílí na vůni pomerančů a druhý na vůni citronů. Ukazuje se však, že vůně silice je u pomeranče a citronu způsobena minoritními složkami silic. Senzorické zkoumání čistých enantiomerů limonenu ukázalo, že jejich vůně je lidmi spíše připodobňována k vůni terpentýnu. V případě enantiomerů karvonu se tohoto obávat nemusíme (Kvittingen, 2021). Oba enantiomery karvonu byly připraveny synteticky. Senzorické zkoumání ukázalo, že vůně čistých, synteticky připravených, enantiomerů je podobná vůni látek izolovaných z přírodních zdrojů (Leitereg, 1971).

## Izolace (*R*)-(-)-karvonu ze silice máty klasnaté

Silice máty klasnaté je komerčně dostupná (pod názvem silice máty kadeřavé). Podle mé analýzy plynovou chromatografií obsahuje tato silice 80 % karvonu a 15 % limonenu. Další minoritní složky se nepodařilo identifikovat. Teploty varu limonenu je za atmosférického tlaku 180 °C (Sevgili, 2008). Teplota varu karvonu je za stejného tlaku 230 °C (Cottee, 1967). Rozdíl 50 °C v teplotách varu dvou hlavních složek silice dává naději na oddělení velké části limonenu ze silice destilací.

Destilace byla vyzkoušena ve dvou variantách. Nejdříve byla využita klasická zábrusová destilační aparatura se zábrusy NZ 14, která zahrnovala destilační baňku (50 cm<sup>3</sup>), destilační nástavec s teploměrem, vodou chlazený sestupný chladič, alonž a baňky jako vyměnitelné předlohy. K zahřívání byla použita vzdušná lázeň, jejíž teplota byla sledována teploměrem. Destilací se podařilo získat frakce výrazně obohacené o karvon, nejčistější frakce obsahovala 92 % karvonu, 5 % limonenu a zbytek tvořily neidentifikované složky. Aby tato destilace fungovala, bylo potřeba destilovat relativně velké množství silice (cca 10 cm<sup>3</sup>). Proto jsem se rozhodl vyzkoušet destilaci ve zjednodušené destilační aparatuře, která by umožňovala pracovat s menšími objemy silice. Aparatura je ukázána na následujícím obrázku.

### OBRAZEK

V podstatě se jedná o (zábrusovou) zkumavku vysokou 12 cm s prodlouženým bočním vývodem směřujícím dolů, který funguje jako vzdušný chladič. Do hrdla zkumavky lze vložit teploměr tak, aby banička teploměru byla v místě, kudy proudí páry do vzdušného chladiče. Do zkumavky byla nalita silice a směs byla zahřívána opět vzdušnou lázní, která byla zhotovena z kádinky (100 cm<sup>3</sup>) zakryté alobalem a položené na plotýnkovém vařiči. Teplota ve vzdušné lázni byla sledována teploměrem. Postupným zvyšováním teploty v lázni a jímáním frakcí podle teploty par do vialek bylo získáno několik frakcí. Analýza plynovou chromatografií

ukázala, že se podařilo získat frakci o podobném složení (92% čistota karvonu) jako při klasické destilaci. Aparatura pro tuto destilaci zachycuje následující obrázek.

OBRÁZEK

### **Chemikálie a materiál:**

Silice máty kadeřavé.

### **Postup:**

- Sestavte aparaturu pro prostou destilaci z laboratorního skla se zábrusy NZ14. Do destilační baňky nalijte 10 cm<sup>3</sup> silice máty kadeřavé a přidejte varný kamínek (větší porcelánový střep).
- Destilační baňku umístěte do topného hnízda a na stojan uchyťte teploměr tak, aby jeho banička s náplní byla ve stejné výšce jako destilační baňka. Prostor s ohřevem zakryjte kousky alobalu. Vznikne tak vzdušná lázeň.
- Zahájte zahřívání destilační baňky, intenzitu zahřívání regulujte podle teploty odečtené z teploměru. Aby destilace probíhala svižně, bude potřeba aby v lázni byla teplota o 40 až 50 °C vyšší než očekávaný bod varu.
- Podle měnící se teploty par odcházejících do chladiče měňte předlohy, do kterých jímáte destilační frakce.
- Frakce, jejichž teplota varu se blížila tabelované hodnotě teploty varu karvonu, spojte a uschovejte.

### **Izolace (S)-(+)-karvonu ze silice semen kmínu kořenného**

Tradiční metodou pro izolaci rostlinných silic z rostlinného materiálu je destilace s vodní parou. Aparatura pro tuto destilaci obvykle obsahuje samostatný vyvíječ vodní páry, která prochází nádobou s kusy rostlin, a následně plynná fáze odchází do chladiče.

OBRÁZEK

Kromě toho lze destilaci s vodní parou provést i na prosté destilační aparatuře, jen je potřeba během destilace do destilační baňky dolévat vodu. Fotografie aparatury vidíme na následujícím obrázku.

OBRÁZEK

V literatuře lze nalézt informaci, že praktický výtěžek silice může být až 4,5 % z původní hmotnosti semen kmínu (Amin, 2002). V experimentu jsem vycházel z drceného kmínu dostupného v obchodech s potravinami. Destilací jsem ale byl schopen získat množství silice odpovídající asi jen 1 % hmotností koření. Překvapující byla analýza získané silice pomocí plynové chromatografie. Podle literatury by karvon měl tvořit 50–60 %, druhou složkou silice kmínu by měl tvořit limonen (35–35 %). Analýza silice získané z drceného kmínu ale ukázala, že obsahuje 97 % karvonu a asi jen 2 % limonenu. Možným vysvětlením by mohlo být, že z drcených semen došlo k vytěkání velké části silice, což by vysvětlilo nižší celkový výtěžek, a že došlo k zakoncentrování méně těkavého karvonu. Kmínovou silici lze destilovat podobně jako v případě silice máty klasnaté, aby došlo ke snížení obsahu limonenu.

### **Chemikálie a materiál:**

Kmín drcený nebo celý (30 g), diethylether a bezvodý síran hořečnatý.



### Postup pro destilaci s vodní parou na aparatuře se samostatným vyvíječem páry:

- Sestavíme destilační aparaturu podle obrázku. Do vyvíječe páry nalijeme vodu tak, aby zaplnila asi 2/3 objemu baňky, přidáme varné kamínky, baňku uzavřeme nástavcem s kapilárou a začneme baňku zahřívat kahanem.
- Do druhé baňky dáme 30 g drceného kmínu a přibližně 100 cm<sup>3</sup> vody a na baňku nasadíme nástavec pro zavádění vodní páry. K nástavci připojíme chladič s předlohou.
- Vyvíječ páry propojíme s druhou baňkou až v okamžiku, kdy voda začne vřít. Po připojení vyvíječe páry začneme kahanem zahřívat rovněž druhou baňku. Destilujeme 1 až 1,5 hodiny.
- Získanou emulzi silice ve vodě nalijeme do suché dělicí nálevky a extrahujeme 3 × 30 cm<sup>3</sup> diethyletheru. Horní vrstvu, která je tvořena roztokem silice v organickém rozpouštědle, odpouštíme do kádinky o objemu 250 cm<sup>3</sup>. Spojené extrakty vysušíme v kádince pomocí bezvodého síranu hořečnatého. Dobré vysušení extraktu je důležité, protože ether rozpouští poměrně hodně vody. Po odpaření tohoto rozpouštědla by pak mohla zůstat v silici kapka vody.
- Posledním krokem je odpaření diethyletheru z roztoku. Standardně lze rozpouštědlo odpařit pomocí rotační vakuové odparky. Pokud ji nemáme, lze ether ze směsi odpařit na destilační aparatuře (pozor, při zahřívání nelze použít kahan nebo jiný zdroj tepla s otevřeným plamenem nebo horkými plochami, je potřeba destilovat například z vodní lázně zahřívané elektrickým vařičem. Další možností může být odfouknutí těkavého rozpouštědla proudem plynu v digestoři. Zdrojem proudu vzduchu může být například vzduchovací motorek pro akvaristy.

### Postup pro destilaci s vodní parou na aparatuře pro prostou destilaci:

- Do destilační baňky o objemu 500 cm<sup>3</sup> nasypeme 30 g drceného kmínu. Přidáme několik varných kamínků a do baňky nalijeme 250 cm<sup>3</sup> vody.
- Na baňku nasadíme destilační nástavec a k nástavci připojíme chladič. Pod konec chladiče postavíme kádinku o minimálním objemu 400 cm<sup>3</sup>. Až není potřeba používat.
- Do chladiče pustíme vodu a zahájíme destilaci. Destilační baňku zahříváme pomocí plynového kahanu přes sítku, případně pomocí topného hnízda. Snažíme se udržovat intenzitu zahřívání tak, aby směs svižně destilovala, ale aby současně nedošlo k jejímu vyvření do chladiče. Pokud dochází k utajenému varu, přidáme další varné kamínky.
- Sledujeme objem predestilované kapaliny. Pokud dojde k predestilování cca 1/2 směsi, destilaci na chvíli přerušíme a stejný objem vody doplníme do destilační baňky.
- Směs destilujeme asi 1 až 1,5 hodiny. Po skončení destilace extrahujeme destilací vzniklou emulzi 3 × 30 cm<sup>3</sup> diethyletheru v dělicí nálevce. Pokud nemáme dělicí nálevku k dispozici, můžeme kapalinu protřepat v baňce a následně směs nalít do odměrného válce. Po oddělení vrstev můžeme horní organickou vrstvu opatrně oddělit pomocí pipety.
- Organické extrakty spojíme a přidáme lžičku sušidla (bezvodý síran hořečnatý, případně i sodný). Sušidlo necháme několik minut působit za občasného promíchání. Následně sušidlo od roztoku odfiltrujeme na hladkém filtru.



- Posledním krokem je odpaření diethyletheru z roztoku. Standardně lze rozpouštědlo odpařit pomocí rotační vakuové odparky. Pokud ji nemáme, lze ether ze směsi odpařit na destilační aparatuře (pozor, při zahřívání nelze použít kahan nebo jiný zdroj tepla s otevřeným plamenem nebo horkými plochami, je potřeba destilovat například z vodní lázně zahřívané elektrickým vařičem. Další možností může být odfouknutí těkavého rozpouštědla proudem plynu v digestoři. Zdrojem proudu vzduchu může být například vzduchovací motorek pro akvaristy.