

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA PEDAGOGICKÁ

KATEDRA CHEMIE

**SEMIMIKROTECHNIKA V LABORATORNÍCH
CVIČENÍCH Z ORGANICKÉ CHEMIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Milan Kokoška

Učitelství chemie pro střední školy

Učitelství chemie pro SŠ (maior) – Učitelství geografie pro SŠ (minor)

Vedoucí práce: doc. Mgr. Václav Richtr, CSc.

Plzeň 2023

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedených zdrojů.

V Plzni, 28. dubna 2023

.....
vlastnoruční podpis

PODĚKOVÁNÍ

Velmi rád bych tímto poděkoval panu doc. Mgr. Václavu Richtrovi, CSc. za vedení diplomové práce a zejména za jeho ochotu a cenné rady, které mi během práce předával.

OBSAH

ÚVOD	1
1. TEORETICKÁ ČÁST	3
1.1. SEMIMIKROTECHNIKA	4
1.2. VÝHODY PRÁCE V SEMIMIKROMĚŘÍTKU	4
1.3. METODY SEMIMIKROTECHNIKY VYUŽÍVANÉ V LABORATORNÍCH CVIČENÍCH Z ORGANICKÉ CHEMIE NA FPE ZČU V PLZNI.....	5
1.3.1. PŘÍPRAVA KYSELINY BENZOOVÉ.....	6
1.3.2. IZOLACE KOFEINU	7
1.4. DALŠÍ METODY PRÁCE V SEMIMIKROMĚŘÍTKU	9
1.4.1. ZAHŘÍVÁNÍ A CHLAZENÍ	10
1.4.2. DÁVKOVÁNÍ A PŘENÁŠENÍ KAPALIN	14
1.4.3. FILTRACE.....	14
1.4.4. JEDNODUCHÁ DESTILACE	16
1.4.5. DESTILACE S VODNÍ PÁROU.....	18
1.4.6. VYTŘEPÁVÁNÍ A EXTRAKCE	19
1.4.7. KRYSTALIZACE.....	21
1.4.8. SUBLIMACE.....	22
1.4.9. SUŠENÍ.....	23
1.5. LABORATORNÍ CVIČENÍ Z ORGANICKÉ CHEMIE V RVP	24
1.5.1. RVP ZV	24
1.5.2. RVP G	25
1.6. LABORATORNÍ CVIČENÍ Z ORGANICKÉ CHEMIE V ŠVP	26
1.6.1. ŠVP PRO NIŽŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA.....	26
1.6.2. ŠVP PRO VYŠŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA	27
1.7. LABORATORNÍ CVIČENÍ Z ORGANICKÉ CHEMIE V UČEBNÍCÍCH PRO ZŠ A SŠ.....	28
1.8. EXPERIMENTY ZAŘAZENÉ DO LABORATORNÍ VÝUKY ORGANICKÉ CHEMIE NA VYBRANÉ ŠKOLE.....	29
1.8.1. NIŽŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA.....	29
1.8.2. VYŠŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA	36
1.9. NÁVRH VHODNÝCH EXPERIMENTŮ PRO ZŠ A SŠ S VYUŽITÍM METOD SEMIMIKROTECHNIKY	42

1.10. VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ REALITY V LABORATORNÍ VÝUCE ORGANICKÉ CHEMIE	42
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	44
2.1. OVĚŘENÍ EXPERIMENTŮ PRO ZŠ A SŠ V LABORATOŘI	44
2.1.1. SUBLIMACE NAFTALENU	45
2.1.1.1. VLASTNÍ PROVEDENÍ EXPERIMENTU	46
2.1.1.2. PRACOVNÍ LIST	51
2.1.2. PŘÍPRAVA BENZENU	53
2.1.2.1. VLASTNÍ PROVEDENÍ EXPERIMENTU	54
2.1.2.2. PRACOVNÍ LIST	61
2.2. OVĚŘENÍ EXPERIMENTU VE ŠKOLNÍCH PODMÍNKÁCH	63
2.2.1. LABORATORNÍ NÁVOD	65
2.2.2. UPRAVENÝ PRACOVNÍ LIST	66
2.3. VYHODNOCENÍ	68
3. ZÁVĚR.....	71
RESUMÉ	72
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	77
SEZNAM TABULEK.....	79
SEZNAM ZKRATEK	80

ÚVOD

Laboratorní cvičení z organické chemie provází žáky na základních i středních školách a navazuje na získané poznatky z teoretické organické chemie v klasických vyučovacích hodinách. Laboratorní výuka seznamuje žáky s praktickou chemií, prohlubuje jejich znalosti a zejména rozvíjí klíčové kompetence žáků (kompetence k učení, k řešení problému, komunikativní, sociální a personální).

Laboratorní cvičení z organické chemie absolvují někteří studenti v rámci studia i na vysokých školách, např. na FPE ZČU v Plzni. Jejich průběhu a možné modifikaci jsem se věnoval již ve své bakalářské práci.

Na základních a středních školách probíhají experimenty z praktických důvodů nejčastěji v makroměřítku. Mezi tyto důvody patří především snaha učitelů provádět demonstrační a motivační experimenty, které žáky vtáhnou do problematiky chemie, vhodně je motivují k dalším částem dané vyučovací hodiny a podnítl je k práci.

Tato diplomová práce má na základě mnou získaných zkušeností, informací z praxe, prostudování uvedené literatury a dalších zdrojů zhodnotit laboratorní cvičení z organické chemie na vybrané škole a navrhnout experimenty za využití metod semimikrotechniky, které by bylo vhodné zařadit do laboratorní výuky na základních a středních školách. Navržené experimenty ověřuji v laboratoři chemie na FPE ZČU v Plzni. Výstupem každého experimentu je pracovní list, který je možné využít k samostatné práci žáků.

Vybraný a v laboratoři ověřený experiment následně ověřuji také ve školních podmínkách, konkrétně na Gymnáziu Františka Křižíka v Plzni.

Z důvodu dodržení zásad bezpečné práce v laboratořích chemie je na školách omezena práce s mnohými látkami, které jsou zdraví škodlivé či jinak nebezpečné. S takovými látkami může pracovat pouze učitel a provádět s nimi např. demonstrační nebo motivační experimenty za dodržení všech nutných bezpečnostních opatření, mj. bezpečné vzdálenosti, což může u některých žáků výrazně snižovat schopnost ideálního pozorování daného experimentu. Mezi možnostmi, jak žákům lépe představit i nebezpečné látky, se kterými za běžných okolností nesmí přijít do přímého kontaktu, patří virtuální realita (VR). Jedná se o moderní metodu, při které žáci nejsou nijak ohroženi na zdraví a mohou pracovat s jakoukoli látkou v libovolném množství. Jako příklad mohu uvést Gymnázium Františka Křižíka v Plzni, kde tuto metodu při vyučování chemie již

využívají a zpětná vazba od žáků je velmi pozitivní. V této diplomové práci uvedu také možnost využití virtuální reality v laboratorní výuce organické chemie.

1. TEORETICKÁ ČÁST

V dnešní době je výuka chemie na základních a středních školách velmi náročná. V přírodovědných předmětech jsou velmi důležitou složkou výuky experimenty a v chemii je jejich zařazení do výuky o to důležitější, aby žáci lépe pochopili dané učivo, vzájemné souvislosti, a aby dokázali lépe odvozovat vlastnosti látek na základě pozorování určitého experimentu. Využívání experimentu však není na všech školách využíváno v ideální míře. Učitelé se často od této metody odvrací z důvodu časové náročnosti, a zejména pak z důvodu nebezpečnosti určitých experimentů. Zásadním faktorem jsou pochopitelně také finanční možnosti dané školy, vybavení chemických tříd a laboratoří a dostupnost chemických látek¹.

Je velmi důležité seznamovat již studenty pedagogických fakult, budoucí učitele, s experimentální výukou, aby ji mohli následně vhodně zařadit i do vlastní praxe na základních a středních školách. Zkušenosti s laboratorní činností na Fakultě pedagogické v Plzni studenti získají již v prvním ročníku bakalářského studia v předmětu Chemické laboratorní metody, kde si studenti osvojí elementární metody a postupy práce v laboratoři chemie. V následujících semestrech studenti absolvují laboratorní cvičení, která navazují na jednotlivé teoretické předměty¹.

Významné změny proběhly zejména v laboratorních cvičeních z organické chemie, kterým jsem se mj. detailně věnoval ve své bakalářské práci². V laboratorních cvičeních z organické chemie na Fakultě pedagogické v Plzni se v současné době objevují také experimenty, při kterých pracujeme s menšími kvanty látek. Studenti tak obecně platné principy práce využívají v menším měřítku, při kterém pracují nejen s menšími kvanty látek, ale využívají i další přednosti této techniky (semimikrotechniky)¹.

V této části diplomové práce je nezbytné vysvětlit samotný pojem semimikrotechnika a její výhody pro zařazení do laboratorních cvičení na základních a středních školách. V následujících kapitolách se pokusím více přiblížit vybrané metody práce v semimikroměřítku a navrhnout experimenty, které by bylo možné využít ve výuce praktické části chemie na základních a středních školách.

1.1. SEMIMIKROTECHNIKA

Z globálního pohledu směřuje organická chemie k práci se stále menšími kvanty látek. Tento jev má poměrně snadné vysvětlení, a tím je mj. omezená dostupnost využívaných látek. Tyto změny pochopitelně vedou ke změně laboratorních postupů, metod, pomůcek či laboratorní techniky³.

Kvantitativní hranice mezi metodami makrotechniky, semimikrotechniky a mikrotechniky není mezi autory ve shodě.

Richtr⁴ např. uvádí hranici pro práci v makroměřítku 10-100 g. Makrotechnika je nejčastěji využívanou metodou v oboru organické syntézy nebo při izolaci různých organických látek. K této práci využíváme běžné laboratorní pomůcky a zařízení.

Opakem makrotechniky je mikrotechnika. V jejím případě se bavíme o práci s navážkami 1-10 mg. Při práci v mikroměřítku je nutná značná zručnost jedince a zkušenost se speciálními zařízeními, které jsou během práce využívány⁴.

Autoři^{3,4,5} se naopak shodují a uvádí jako hranici pro práci v semimikroměřítku 50-500 mg, potažmo 0,5-10 ml. Semimikrotechnika pracuje sice s o něco větším množstvím látek než mikrotechnika, zásadní výhodou je ovšem to, že pro práci nevyžaduje specifická či komplikovaná zařízení a mnoho laboratorních pomůcek si můžeme s trochou dovednosti a zručnosti zhotovit sami, ať už ze skla či jiných materiálů³.

Volín a Metelková³ uvádí: „Uvážíme-li, že za makroreakci označujeme obvykle takovou, při níž reagují gramová množství látek v poměru 1 až ½ molu, lze obecně pokládat za semimikroreakci takovou, jíž se zúčastní asi desetina látek vzhledem k makroměřítku.“

1.2. VÝHODY PRÁCE V SEMIMIKROMĚŘÍTKU

Na úvod je nutné zmínit, že práce v semimikroměřítku vyžaduje pečlivou a velmi přesnou práci. Pokud je toto splněno a výsledky experimentů jsou následně úspěšné, není důvod netvrdit, že semimikrotechnika je v laboratorních cvičeních z organické chemie krokem dopředu. Mezi zásadní výhody práce v semimikroměřítku můžeme zařadit zejména úsporu obtížně dostupných a často velmi vzácných chemikálií. Další značnou výhodou je úspora času. Reakční doba se díky menšímu množství látek o poznání zkrátí, nehledě pak na úsporu času v momentě, kdy není nutné sestavovat složité aparatury pro destilace, filtrace a další různé metody k izolaci a čištění látek³.

Richtr⁴ uvádí: „Při zpracování navážek nejčastěji v rozsahu 50-500 mg jsou využity výhody makrotechniky i mikrotechniky, což se dá shrnout jako úspora materiálu, času, prostoru v laboratoři a v neposlední řadě i nižší ztráty při jednoduchosti provedení.“

Využití semimikrotechniky je řešením např. pro školy, které si z finančních důvodů nemohou dovolit moderní laboratorní pomůcky a zařízení nebo pro školy, které se snaží omezit svoji spotřebu vody a plynu. Během téměř všech možných semimikropreparací nám postačí kádinka s vodou. Není tedy nutné velké množství tekoucí vody. Klasický laboratorní plynový kahan (Bunsenův kahan) nám spolehlivě nahradí lihový kahan³.

Další výhodou práce v semimikroměřítku je zvýšení počtu pokusů, které mohou provádět žáci samostatně, případně ve dvojicích, na základních a středních školách. Demonstrační pokusy prováděné učitelem frontální formou by tak mohli být vhodně doplněny o samostatnou práci žáků, kteří by díky tomu rozvíjeli logické a systematické myšlení, více by pronikli do problematiky experimentu a zdokonalovali by se v systematickosti práce a pečlivosti³.

Velmi často jsou různé experimenty z výuky odstraňovány z důvodu, že jsou aktéři pokusu vystaveni nebezpečí při práci s různými nebezpečnými chemickými látkami, jako jsou různé jedy, bróm, sirovodík, chlór atd. Riziko otravy či úrazu je vždy aktuální a není dobré jej podceňovat. Experimenty lze v semimikroměřítku provádět za výrazně sníženého rizika úrazu nebo otravy. Bezpečnost práce se podstatně zvyšuje díky menšímu množství nebezpečných, explozivních či zdraví škodlivých látek^{3,4}.

1.3. METODY SEMIMIKROTECHNIKY VYUŽÍVANÉ V LABORATORNÍCH CVIČENÍCH Z ORGANICKÉ CHEMIE NA FPE ZČU V PLZNI

Budoucí učitelé se setkávají se semimikrotechnikou již během studia na vysoké škole v předmětu Laboratorní cvičení z organické chemie. Během semestru studenti pracují s řadou organických látek, jejichž množství je z ekonomických i časových důvodů omezeno na kvanta spadající do semimikroměřítku. Díky tomu je možné využít různé modifikované postupy a pomůcky. Modifikaci pracovních postupů v laboratorních cvičeních z organické chemie jsem se věnoval již ve své bakalářské práci². Vedle literatury uváděné v této práci lze doporučit i řadu dalších publikací, např.^{6,7}.

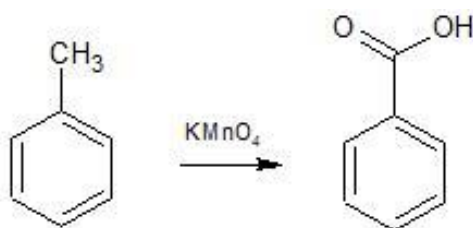
V této kapitole uvádím příklady modifikovaných postupů, jež jsou v současné době využívány v laboratorních cvičeních z organické chemie na FPE v Plzni.

V těchto přípravách je práce zahajována obvykle s větším množstvím materiálu metodami makrotechniky. V určité etapě práce je výhodné přejít na využití metod semimikrotechniky.

1.3.1. PŘÍPRAVA KYSELINY BENZOOVÉ

Příprava kyseliny benzoové má v laboratorních cvičeních z organické chemie své pevné místo. Studenti mají příležitost při této poměrně náročné přípravě vyzkoušet celou řadu metod z makrotechniky, které jsou velmi důležité pro jejich budoucí profesní kariéru učitele.

Principem je oxidace toluenu manganistanem draselným. Reakce probíhá ve vodném neutrálním prostředí při teplotě varu (viz schéma)⁸. Vzhledem k tomu, že během reakce vzniká jako vedlejší produkt také hydroxid draselný (silně zásaditá látka), reakce ve skutečnosti probíhá v mírně zásaditém prostředí.

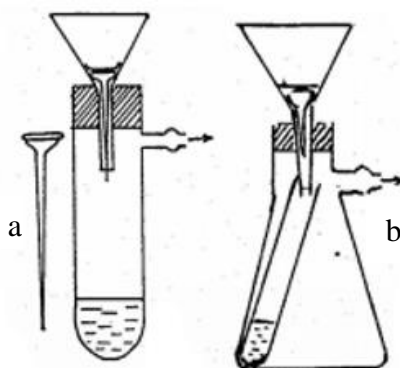


Kompletní pracovní postup přípravy kyseliny benzoové popisují již ve své bakalářské práci², zde uvádím stručnou charakteristiku jednotlivých etap práce.

Příprava kyseliny benzoové je zahájena v makroměřítku smícháním 1 g toluenu se 75 ml destilované vody ve varné baňce. Následuje několik hodin dlouhé zahřívání ve vroucí vodní lázni, během něhož v první hodině postupně přidáváme po 10 minutách přesně odvážený manganistan draselný (3,4 g). Reakcí vzniká mj. pevný oxid manganičitý (burel). Po úplném zredukování ve směsi nezreagovaného manganistanu draselného ethanolem roztok přefiltrujeme na Büchnerově nálevce. Přefiltrováním jsme z roztoku oddělili pevný burel. Filtrát následně zahušťujeme na objem 10-15 ml a zkusmo při zahušťování přikápneme zředěnou HCl v poměru 1:1. Pokud se začne vylučovat kyselina benzoová ve formě krystalů nebo sraženiny, okyselíme filtrát až do mírně kyselé reakce (z důvodu převedení veškerého draslíku a manganu na příslušné chloridy). V případě, že k vylučování kyseliny benzoové nedojde, je nutné zahušťovat dále (volná

kyselina benzoová těká s vodní párou), aby se zamezilo ztrátám předčasně uvolněné kyseliny benzoové s vodní párou. Roztok následně necháme krystalovat a vyloučené krystaly odsajeme a promyjeme destilovanou vodou. Vzhledem malému množství látky je výhodné použít metodu ze semimikrotechniky, konkrétně filtraci za sníženého tlaku přes Willstätterovu jehlu (viz obr. 1)².

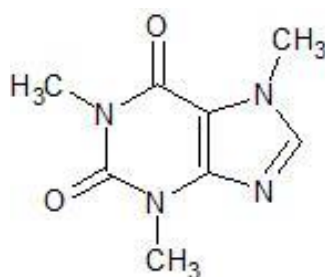
Richtr⁴ uvádí: „Willstätterovu jehlu zhotovíme ze skleněné tyčinky, kterou přetavíme vytažením na dvě části. Po zkrácení tyčinky uchopíme upravenou tyčinku za zúženou část a zbytek skla ohřejeme do červeného žáru a tlakem o kovovou nebo keramickou podložku rozšíříme do požadované plošky podle použité nálevky. Při zahřívání dbáme na to, aby se prohřála jen ta část skla, která tlakem o podložku vytvoří plošku.“ Na tuto plošku umístíme filtrační papír s průměrem o něco málo větším, než je průměr Willstätterovy jehly. Filtrační papír je vodné vyříznout nejlépe korkovrtem, abychom zachovali pravidelný tvar⁴.



Obr. 1 **Filtrace s využitím Willstätterovy jehly** (převzato z ^{3,4})
a – varianta s odsávací zkumavkou
b – varianta odsávací baňky se zkumavkou

1.3.2. IZOLACE KOFEINU

Kofein je přírodní látka patřící mezi deriváty xanthinu. Je známý svými diuretickými vlastnostmi, a především schopností stimulovat centrální nervový systém. Studenti FPE v Plzni využívají k jeho extrakci pytlíky s čajem, v nichž je kofein v koncentraci 2-4 %. Přesná koncentrace kofeinu závisí na typu čaje a jeho zpracování⁹.



kofein

Izolace kofeinu je stejně jako některé jiné práce (např. příprava kyseliny benzoové v kap. 1.3.1.) kombinací makrotechniky (v počáteční fázi) a semimikrotechniky (získání samotného produktu).

Kompletní a podrobný postup izolace kofeinu uvádím v bakalářské práci². V této kapitole (stejně jako v kap. 1.3.1.) uvádím jen stručnou charakteristiku jednotlivých etap práce.

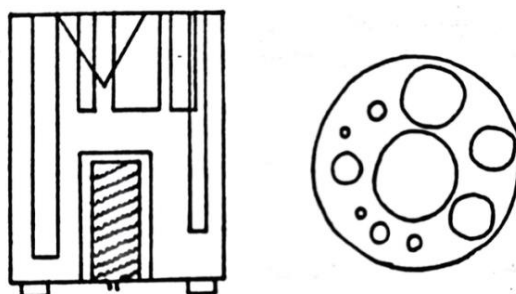
Izolaci kofeinu zahájíme extrakcí čaje ve vodě při teplotě varu. V případě, že k extrakci použijeme sypaný čaj, je nutné jej před dalším postupem přefiltrovat. Tuto filtraci není nutné provádět, pokud využijeme sáčekový čaj. Po extrakci čaje (případně i po jeho filtraci) přidáme octan olovnatý z důvodu odstranění nežádoucích látek (trislovin apod.). Po odfiltrování vzniklé sraženiny čirý filtrát extrahujeme chloroformem a získaný extrakt po prolití sloupečkem oxidu hlinitého (odstranění vlhkosti a barviv) zahustíme na malý objem, který po přidání petroletheru, ve kterém je kofein hůře rozpustný, poskytne pevný produkt (kofein), který je možno přechistit krystalizací z ethanolu. Získané krystaly lze odfiltrovat na Willstätterově jehle (viz obr. 1). Krystalizaci z ethanolu lze nahradit také sublimací².

Jako zdroj tepla je možné využít elektricky vyhřívané topné hnízdo, které je v dnešní době velmi snadno dostupné. V laboratorních cvičeních z organické chemie na FPE v Plzni je běžně využíváno laboratorní topné hnízdo suché (LTHS), které můžeme vidět na obr. 2.

Dříve byly v laboratořích chemie nejběžnější topná hnízda s hliníkovými bloky (viz obr. 3), která byla vyhřívána mj. topnými tělesy, jež byla běžně využívána např. do elektrických páječků. Shora byly do topného hnízda vyvrtané otvory, které sloužily ke vkládání a ohřevu baněk či zkumavek. Nechyběly zde ani otvory pro teploměry, kterými byla kontrolována potřebná teplota⁴.



Obr. 2 Laboratorní topné hnízdo suché (LTHS)



Obr. 3 Elektricky vyhříváný kovový blok s topným tělískem z elektrické páječky – 300 W (převzato z ⁴)

1.4. DALŠÍ METODY PRÁCE V SEMIMIKROMĚŘÍTKU

Kromě již zmíněných časových výhod má práce v semimikroměřítku oproti práci v makroměřítku další pozitivum, a tím je vyšší procentuální výtěžnost výsledných látek. Při využívání běžných izolačních metod v makroměřítku může během laboratorní práce docházet k značným ztrátám, čemuž je možné výrazně předcházet využíváním metod semimikrotechniky¹⁰.

Práci v laboratoři výrazně ovlivňuje také horší dostupnost mnoha chemických látek. Z tohoto důvodu je často žádoucí práce v semimikroměřítku, díky níž jsme schopni ušetřit notné množství potřebného materiálu oproti práci v makroměřítku.

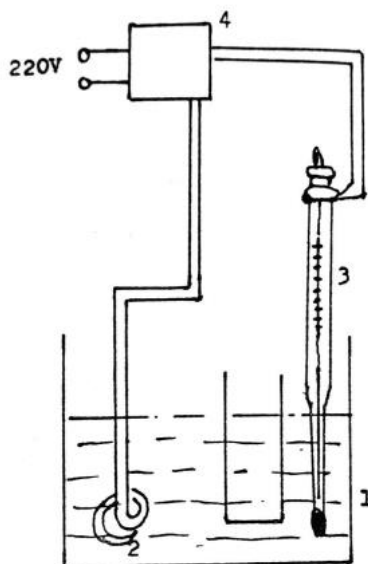
V této části práce uvádím některé z dalších metod semimikrotechniky, které lze využít, spolu se zmíněnými metodami z kap. 1.3.1. a 1.3.2., v laboratořích při výuce chemie na základních a středních školách.

1.4.1. ZAHŘÍVÁNÍ A CHLAZENÍ

V semimikrotechnice není možné využívat klasické Bunsenovy plynové kahany. Plamen Bunsenova kahanu je natolik intenzivní, že není možné jej usměrňovat tak, abychom mohli zahřívát i malá kvanta reakčních směsí. Pro práci ve školním prostředí nám zcela poslouží obyčejné lihové kahany, jejichž plamen můžeme do určité míry korigovat pomocí knotu, který lze povytáhnout⁴.

V laboratoři často nastane situace, kdy k zahřívání není vhodné využít přímý ohřev pomocí kahanu. V tomto případě je možné využít ohřev pomocí lázní, jichž je několik typů. Při zahřívání do 100 °C je optimální vodní lázeň, která může být vyhřívána buď pomocí Bunsenova kahanu nebo elektricky. Nutno dodat, že při ohřívání vodní lázně Bunsenovým kahanem může teplota značně kolísat a je důležité kontrolovat teplotu vodní lázně, která při vysoké intenzitě plamene snadno překročí teplotu varu⁴.

Elektricky vyhřívána vodní lázeň je ideální, pokud chceme snadno regulovat její teplotu. Richt⁴ uvádí (viz obr. 4): „Často jsou využívány improvizované vodní lázně, které jsou tvořeny kádinkou (1), ponorným vařičem (2), kontaktním teploměrem (3) a spínacím relé (4). V případě, že místo vody použijeme jiné médium, např. glycerin, může se teplota úměrně zvýšit.“



Obr. 4 Elektricky vyhřívána vodní lázeň (převzato z ⁴)

Dalším typem lázně, který je vhodný využít v semimikrotechnice, je vzdušná lázeň (viz obr. 5). Její sestavení je velmi snadné. Síťku umístíme mezi plamen a zahřívanou nádobu tak, aby se síťka s nádobou vzájemně nedotýkaly⁴.



Obr. 5 Vzdušná lázeň (převzato z ⁴)

- a – plamen
- b – síťka
- c – zahřívaná nádoba

Zahřívání pomocí elektrických topných hnízd (obr. 2) jsem již popsal v kap. 1.3.2.

Ochlazení směsi provedeme nejlépe proudem chladné vody, eventuálně je možné využít chladicí směsi. K efektivnímu použití chladicích směsí je důležité je umístit do bloku z polystyrenu, který brání ohřátí okolní teplotou⁴.

Literatura¹¹ uvádí příklady různých chladicích směsí (viz tab. 1, 2, 3). Z tab. 1 vidíme, že je možné využitím chladicích směsí s ledem dosáhnout teplot od -2 °C až do -55 °C. Při přípravě dané směsi je velmi důležité, aby došlo k důkladnému promíchání obou složek. Zpravidla se chladicí směs připravuje tak, že se na sebe v tenkých vrstvách umísťuje střídavě led a sůl dané látky. V případě, že není k dispozici dostatek ledu, můžeme chladicí směs připravit i rozpuštěním určitých solí ve vodě či v minerálních kyselinách (viz tab. 2 a 3)¹¹.

Tab. 1 **Konstanty chladicích směsí s ledem** (převzato z ¹¹⁾)

Chladicí směsi s ledem		
Látka	Poměr množství	Nejnižší dosažitelná teplota (°C)
	led / látka	
Na ₂ CO ₃ · 10 H ₂ O	100 / 20	-2
KCl	100 / 30	-11
NH ₄ Cl	100 / 25	-15
NH ₄ NO ₃	100 / 50	-17
NaNO ₃	100 / 50	-18
NaCl	100 / 33	-21,3
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	49 / 100	-19,7
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	61 / 100	-39
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	70 / 100	-54,9
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	81 / 100	-40,3
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	123 / 100	-21,5
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	246 / 100	-9
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	100 / 150	-49
HNO ₃ zřed.	100 / 100	-40
H ₂ SO ₄ konc.	100 / 25	-20

Tab. 2 **Konstanty chladicích směsí solí s vodou** (převzato z ¹¹⁾)

Chladicí směsi solí s vodou			
Sůl	% soli ve směsi	Počáteční teplota vody (°C)	Nejnižší dosažitelná teplota (°C)
NaNO ₃	42,9	13,2	-5,3
CH ₃ COONa . 3 H ₂ O	45,9	10,7	-4,7
KCNS	60	10,8	-23,7
NH ₄ NO ₃	16,6	0	-14
NH ₄ NO ₃	31,2	0	-26
NH ₄ NO ₃	37,5	13,6	-13,6
NH ₄ NO ₃	46,8	0	-39,3
NH ₄ NO ₃	57,1	0	-44,7

Tab. 3 **Konstanty chladicích směsí solí a minerálních kyselin** (převzato z ¹¹⁾)

Chladicí směsi solí a minerálních kyselin				
Sůl	Kyselina	množství soli ve směsi	Počáteční teplota (°C)	Nejnižší dosažitelná teplota (°C)
Na ₂ SO ₄ . 10 H ₂ O	HCl 36,7%	37,69 %	21,2	-8,1
Na ₂ SO ₄ . 10 H ₂ O	HCl 36,7%	50,22 %	21,6	-12,2
Na ₂ SO ₄ . 10 H ₂ O	HCl 36,7%	62,96 %	21,6	-15,3
Na ₂ SO ₄ . 10 H ₂ O	HNO ₃ zřed.	3 díly soli		-5
Na ₂ SO ₄ . 10 H ₂ O	H ₂ SO ₄ 66%	5 dílů soli		-17

1.4.2. DÁVKOVÁNÍ A PŘENÁŠENÍ KAPALIN

K dávkování kapalin v semimikroměřítku využíváme kromě jiného pipety a speciální mikropipety. K běžným úkonům semimikrotechniky nám poslouží pipetky, které je ale nutné správně kalibrovat.

Vzhledem k malému množství látek, s nimiž v semimikrotechnice pracujeme, je manipulace s nimi velmi náročná. K této činnosti je zapotřebí určité dovednosti a zkušenosti, protože přenášená kapalina velmi snadno vlhne, je zachycována na povrchu nádob, případně se velmi rychle odpařuje. Tomuto se musíme vyvarovat, neboť ztráta i jediné kapky může při malých objemech značně ovlivnit výtěžek experimentu. V semimikroměřítku je příhodnější pracovat s malými nádobami, aby bylo co nejvíce sníženo riziko částečného odpaření kapaliny či smáčení stěn nádob³.

Přelévání kapalin z jedné nádoby do druhé je zcela nevhodné. K jejich přenosu je nutné použít pipety či pipetky, které jsme schopni si vyrobit i sami.

S ohledem na bezpečnost při laboratorní výuce se nedoporučuje nasávat kapaliny do malých pipet přímo ústy. Je vhodnější využít gumové hadičky, případně pryžové váčky, abychom se ústy přímo nedotýkali pipety³.

Dnes se k dávkování a přenášení kapalin v laboratořích běžně využívají tzv. nafukovací balónky. Balónek je nutné opatrně nasadit na pipetu, aby nedošlo k jeho poškození a následně jej zmáčknot k vytvoření podtlaku. Neopatrnou manipulací může také dojít ke zlomení pipety a následnému poranění. Práce s balónkem je velmi prostá a intuitivní. Stlačením určité části dochází k naplnění pipety danou kapalinou a po stlačení jiné, k tomu určené části balónku, dojde k uvolnění kapaliny z pipety.

1.4.3. FILTRACE

Během filtrace v semimikroměřítku dodržujeme všechna pravidla, se kterými jsme se setkali již při práci v makroměřítku. Při filtraci malých objemů kapalin je vhodné pracovat spíše se zředěnými roztoky. Jednou z hlavních metod v semimikroměřítku je filtrace pomocí skleněného balónku, který je opatřený kouskem vaty, jež slouží k filtraci daného roztoku. Jedna kapilára skleněného balónku je uzavřená, druhá je naopak otevřená. V případě, že požadovaným výsledkem filtrace bude filtrát, umístíme vatu na vnější část otevřeného konce kapiláry. Vata během filtrace zachytí nečistoty a po skončení práce ji opatrně sejmem. Pokud naopak chceme dále pracovat s pevnou látkou, je vhodnější jiný typ skleněného balónku, který uvádí ve své literatuře Richt⁴ (viz obr. 6).

Tento modifikovaný typ balónku je opatřený nálevkovitým ukončením, v němž je umístěna vata, která opět slouží jako filtrační vrstva. Po ukončení filtrace zůstane pevná látka v původní nádobě, případně se zachytí na styčné plošce vaty. Výhodou využití vaty při filtraci jsou minimální ztráty filtrátu i pevné látky⁴.



Obr. 6 Skleněný balónek s nálevkovitým rozšířením (převzato z⁴)

a – oblast řezu za nálevkovitým ukončením otevřené kapiláry

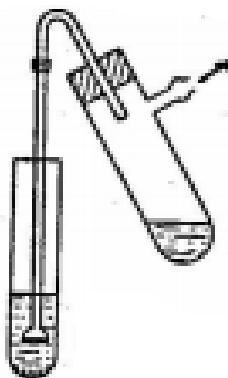
Filtraci za sníženého tlaku s využitím Willstätterovy jehly jsem již popsal v kap. 1.3.1. Možné varianty aparatur pro tuto filtraci vidíme na obr. 1.

Další možnou modifikací filtrace malých množství látek je inverzní (obrácená) filtrace. Na FPE ZČU je k dispozici zdroj vakua, proto je možné využít metodu s odsáváním modifikovanou pro práci v semimikroměřítku (obr. 7).

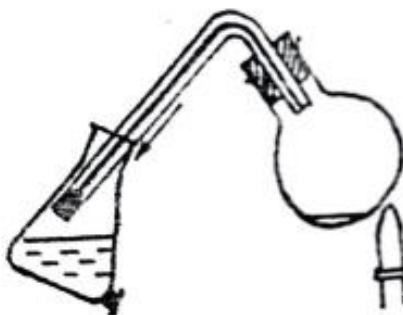
Na základních nebo středních školách však zdroj vakua nemusí být k dispozici. Pro tento případ uvádí literatura^{4,9} možnosti, jak provést inverzní filtraci bez odsávání.

První možnost provedení vidíme na obr. 8 a Richtr⁴ ji popisuje takto: „Zahřátím odpaříme několik kapek rozpouštědla umístěného v baňce uzavřené gumovou zátkou s kapilární trubičkou, a potom trubičku ponoříme pod hladinu filtrované kapaliny. Ochlazením baňky vzniká podtlak, který způsobí přetažení kapaliny přes filtrační vrstvu do této chladnoucí baňky.“

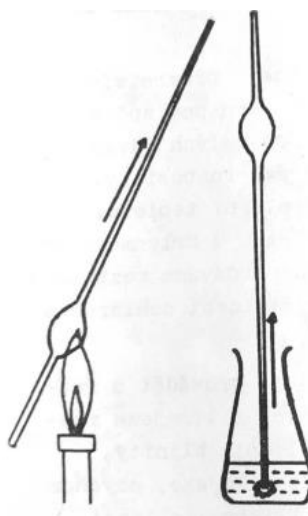
Druhým možným provedením inverzní filtrace bez odsávání je využití balónku⁹. Princip této filtrace je znázorněný na obr. 9.



Obr. 7 Inverzní filtrace s odsáváním (převzato z⁴)



Obr. 8 Inverzní filtrace bez odsávání (převzato z ⁹⁾)



Obr. 9 Použití balónku k inverzní filtraci bez odsávání (převzato z ⁹⁾)

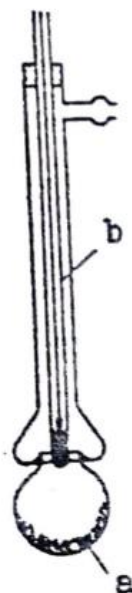
1.4.4. JEDNODUCHÁ DESTILACE

Destilace je v laboratoři chemie významnou čistící operací. Nejčastěji destilujeme větší množství látek v klasických destilačních aparaturách, jejichž sestavení a následně samotná destilace mohou být mnohdy velmi náročné. Destilace v semimikroměřítku je stejně tak důležitá jako v makroměřítku, ovšem z důvodu práce s menšími objemy je o to náročnější a vyžaduje různě modifikované destilační aparatury, které jsou značně menší než běžné destilační aparatury⁴.

K destilaci malých objemů kapalin můžeme využít tzv. límcovky (obr. 10). Límcové baňky si s trochou zručnosti při práci se sklem můžeme zhotovit sami. Límcovky mohou být součástí komplikovanějších aparatur a jejich výhodou je také využitelnost i za sníženého tlaku⁴.

Richtr⁴ říká: „Skleněnou vatu, která plní funkci varného kamínku nebo varné kapiláry, je nutno co nejlépe rozvrstvit po dně baničky. Při destilaci menších objemů

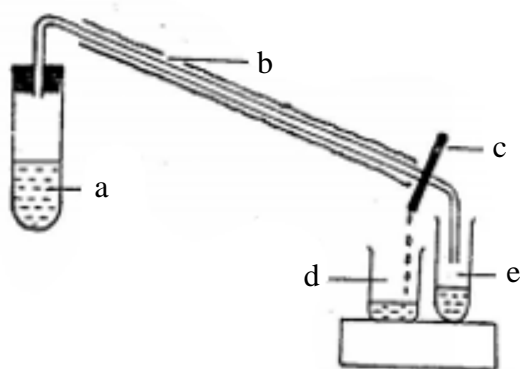
kapaliny teploměr nevkládáme a spokojíme se s tím, že sledujeme teplotu lázně, do které je baňka ponořena těsně pod límečkem. Po ukončení destilace límcovku skloníme do šikmé polohy, aby došlo k nahromadění destilátu do jednoho místa, ze kterého jej vhodně upraveným balónkem (viz kap. 1.4.2.) odsajeme.“



Obr. 10 **Límcovka** (převzato z ⁴)

- a – vata
- b – teploměr

Jednu z nejvhodnějších destilačních aparatur pro práci v semimikroměřítku můžeme vidět na obr. 11. Tato jednoduchá destilační aparatura je velmi účinná, a navíc zhotovená z dílů, které běžně nalezneme v každé laboratoři chemie.



Obr. 11 **Aparatura k destilaci malých objemů kapalin** (převzato z ^{3,4})

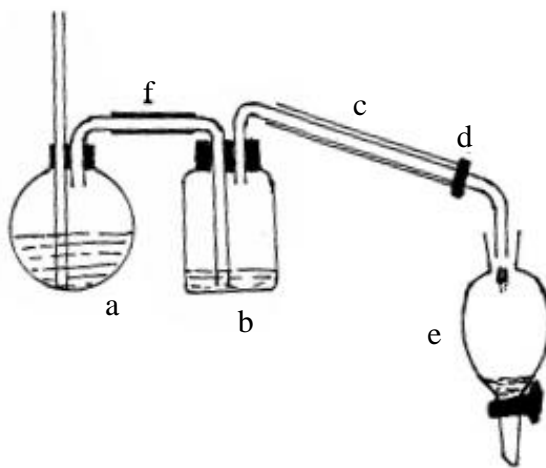
- a – destilační zkumavka
- b – skleněná trubice obalená vlhkým filtračním papírem
- c – gumová manžeta
- d – jímadlo vody
- e – jímadlo destilátu

1.4.5. DESTILACE S VODNÍ PÁROU

Destilace s vodní párou je v laboratořích chemie velmi často využívána zejména k oddělování izomerních organických sloučenin či izolaci přírodních látek. Jako příklad využití destilace s vodní párou mohu uvést dělení o-nitrofenolu od p-nitrofenolu⁹. Tato laboratorní práce je také prováděna v laboratorních cvičeních z organické chemie na FPE v Plzni a podrobně jsem se jí věnoval v bakalářské práci². Vzhledem k větším objemům látek je ale prováděna v makroměřítku.

Pokud bychom chtěli provést destilaci s vodní párou v semimikroměřítku, je vhodné sestavit modifikovanou destilační aparaturu, která bude určitou mikro verzí té původní, běžné aparatury. Zmenšením destilační aparatury se snažíme předejít rozptýlení malého objemu destilátu na velkých plochách obvyklé aparatury a do velkých objemů⁴. Richtr⁴ uvádí: „Vzhledem k tomu, že budeme pracovat s malým množstvím látek i vodní páry, musíme dbát nejen na těsnost spojů, ale také na to, aby nedocházelo ke zbytečným tepelným ztrátám. Proto všechny spoje volíme co nejkratší a trubici spojující vyvíječ páry s destilační baňkou můžeme obalit pruhem suchého filtračního papíru.“

Upravenou destilační aparaturu pro destilaci s vodní párou uvádí literatura^{3,4} (viz obr. 12).

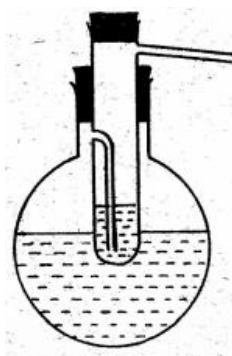


Obr. 12 Aparatura pro destilaci s vodní párou (převzato z^{3,4})

- a – vyvíječ vodní páry
- b – destilovaná látka
- c – chladič obalený vrstvou vlhkého filtračního papíru
- d – manžeta zachycující přebytek chladicí vody
- e – jímadlo destilátu (dělicí nálevka)
- f – pojistná trubice

Volín a Metelková³ ve své literatuře uvádí další způsob modifikace aparatury pro destilaci s vodní párou. Přístroj podle Pozziho a Escota je značně jednodušší a z obr. 13

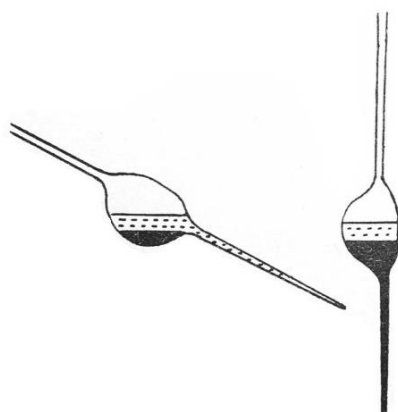
je patrné, že vnější baňka zde koná současně funkci vyhřívané lázně i zdroje vyvíjení vodní páry. Teplota lázně se nesmí snížit, musíme proto zajistit její stálý výhřev. V případě poklesu teploty lázně by poklesl tlak páry ve vyvíječi a destilovaná látka by samovolně přešla spojovací trubicí do vnější baňky³. Stejně nebezpečí hrozí i při ukončení destilace, proto je nutné zajistit, aby v okamžiku ukončení ohřevu vyvíječe páry k podtlaku nedošlo.



Obr. 13 Přístroj k destilaci s vodní párou podle Pozziho a Escota (převzato z ³)

1.4.6. VYTŘEPÁVÁNÍ A EXTRAKCE

Nefiltrovatelné látky můžeme z roztoku oddělit metodou vytřepávání. Tuto metodu je vhodné provádět do objemu přibližně 5 ml. K vytřepávání z roztoku je zapotřebí vhodné neutrální a s vodou nemísitelné rozpouštědlo s hustotou menší, než je hustota vody. Jako příklad těchto rozpouštědel můžeme uvést např. éter, benzen apod. Literatura³ uvádí metodu vytřepávání pomocí tzv. Gorbachova „čapího zobáku“ (obr. 14). Princip této metody je velmi jednoduchý. Volín a Metelková³ říkají: „*Při vytřepávání extrahované látky a rozpouštědla, které do pipety nasajeme, držíme zařízení ve vodorovné poloze. Jestliže chceme vypustit těžší kapalinu, držíme pipetu svisle, při oddělování vrstvy s menší hustotou držíme pipetu šikmo.*“

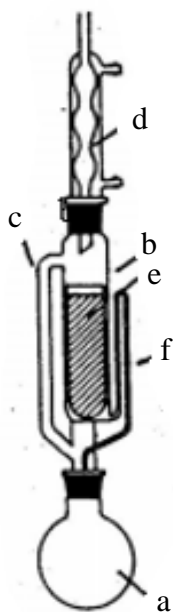


Obr. 14 Zařízení k vytřepávání – Gorbachův „čapí zobák“ (převzato z ³)

K vytřepávání látek o objemu větším než 5 ml využíváme nejčastěji dělicí nálevku³.

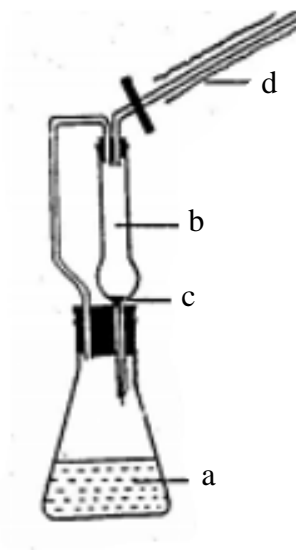
Extrakci látek provádíme v semimikroměřítku za vysokých i nízkých teplot pomocí různých speciálních extraktorů. Mezi nejvyužívanější patří tzv. Soxhletův extraktor (obr. 15). Jeho hlavní předností oproti ostatním extraktorům je možnost kontinuální extrakce za horka neustále čistým rozpouštědlem^{3,11}. Princip jeho fungování uvádí Richtr⁴: „Páry rozpouštědla stoupají širokou trubicí (c) do chladiče (d), kde kondenzují a vzniklá kapalina odkapává do patrony (e). Zde dochází k extrakci, přičemž extrakt prolíná porézní stěnou patrony a hromadí se v těle extraktoru (b). Když hladina extraktu dosáhne vrcholu U-trubice (f), všechn extrakt přeteče zpět do baňky (a) a celý proces se opakuje.“

Variantou Soxhletova extraktoru je aparát (viz obr. 16), který si můžeme vyrobit sami dle vlastních potřeb ze snadno dostupných materiálů. U tohoto zařízení je výrazným pozitivem možnost modifikace v různých rozměrech. Z pohledu bezpečnosti však vyžaduje neustálý dohled, což může být v porovnání se Soxhletovým extraktorem nevýhoda⁴.



Obr. 15 Soxhletův extraktor (převzato z ⁴)

- a – baňka s rozpouštědlem
- b – tělo extraktoru
- c – široká trubice pro odvod par do chladiče
- d – chladič
- e – patrona (papírová kyveta) s extrahovaným materiálem
- f – přepadová trubice tvaru U



Obr. 16 **Aparatura pro extrakci** (převzato z ³)

- a – baňka s extrakčním rozpouštědlem
- b – nádobka určená k umístění extrahovaného materiálu
- c – Willstätterova jehla
- d – chladič s pryžovou manžetou obalený vlhkým filtračním papírem

1.4.7. KRYSTALIZACE

Všechny pracovní metody a principy, které známe z makroměřítká, můžeme při krystalizaci využít i v semimikroměřítku. V semimikrotechnice však musíme věnovat pozornost zejména oddestilování či odpařování rozpouštědla. Musíme brát v úvahu to, že při odpaření i velmi malého objemu rozpouštědla může nastat změna koncentrace, která by měla za následek vytvoření přesyceného roztoku, jenž by byl nevhodný ke krystalizaci. Samotné zahušťování roztoku je tedy nutné provádět velmi obezřetně a pomalu^{3,4}.

Zpravidla provádíme krystalizaci látky za využití dvou vzájemně mísitelných rozpouštědel³. Je známo, že: „Z roztoku látky oddestilováváme rozpouštědlo, v němž je dobře rozpustná, za současného přikapávání rozpouštědla, ve kterém je rozpustná špatně. V okamžiku, kdy dojde k zakalení roztoku, dodáme ještě několik kapek tohoto rozpouštědla a přestaneme zahřívat. Pozvolným ochlazením získáme obvykle hrubší krystaly, při prudkém ochlazení získáme krystaly jemnější“ (cit. ⁴).

Rychlost krystalizace organických látek je obvykle velmi odlišná. Časově se můžeme pohybovat v rozmezí několika vteřin až týdnů³. Krystalizaci obecně urychlují nízké teploty. V případě, kdy je ke krystalizaci nutné prudké ochlazení, je vhodné využít lednici nebo mrazák. Podmínkou však je využití v konkrétním roztoku takového rozpouštědla, jenž při tak malých teplotách neztuhne⁴.

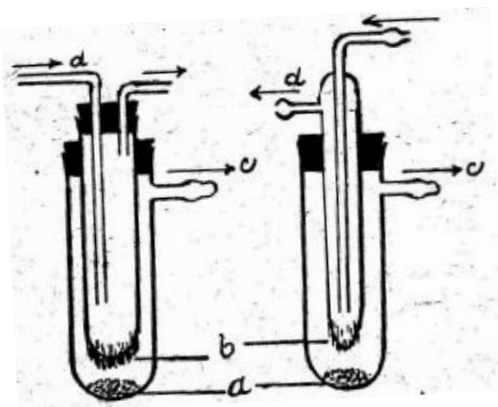
V jiných situacích, zejména při krystalizaci látek s nízkou teplotou tání, probíhá celý proces podstatně delší dobu velmi mírným ochlazováním. V těchto případech je ideální možností využít např. polystyrenový box, který brání náhlému ochlazení roztoku⁴.

1.4.8. SUBLIMACE

Sublimace je pro svoji vysokou účinnost jednou z nejdůležitějších metod k čištění látek. Během této operace nedochází při správném provedení téměř k žádným ztrátám dané látky, tudíž je tato metoda velice vhodná i do semimikrotechniky⁴. Sublimaci lze provádět za normálního i za sníženého tlaku³.

Za normálního tlaku je vhodné využít sublimaci mezi dvěma hodinovými skly. Tuto metodu popisuje literatura³ takto: „*Jemně rozemletý vzorek vložíme na hodinové sklo, přikryjeme kolečkem filtračního papíru, který poněkud přesahuje sklo, jehož střed je propíchnán malými otvory. Na ně položíme druhé sklo a obě sepneme dohromady drátěnou svorkou. Spodní sklo zahříváme na pískové lázni, látka sublimuje a její páry kondenzují na horním hodinovém skle, které chladíme vzduchem nebo vlhkým filtračním papírem.*”

K rychlejšímu provedení sublimace je však výhodnější ji provádět za sníženého tlaku. Zařízení k tomuto typu sublimace je znázorněné na obr. 17. Časová úspora a šetrnost této metody jsou v každé laboratoři chemie zásadními faktory, proto se s ní v praxi setkáme nejčastěji. Přístroj k sublimaci za sníženého tlaku sestavíme z odsávací zkumavky, do níž je skrz pryžovou zátku vložen prstový chladič, který je možné s trochou improvizace nahradit i obyčejnou zkumavkou³.

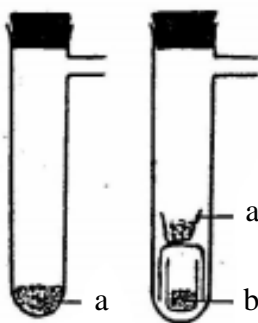


Obr. 17 Přístroj k sublimaci za sníženého tlaku (převzato z³)

- a – sublimovaná látka
- b – sublimát
- c – připojení k vývěvě
- d – chladičí voda

1.4.9. SUŠENÍ

Sušení malých množství látek se v zásadě nijak neliší od sušení větších kvant látek. Rychlost celého procesu je v semimikroměřítku zpravidla větší díky menšímu množství dané látky, jinak ale při práci dodržujeme naprosto stejná pravidla jako v makroměřítku. Sušení běžně provádíme v tzv. exsikátorech. V semimikroměřítku si však můžeme vyrobit vlastní improvizovaná zařízení k sušení menších kvant látek za sníženého tlaku s využitím odsávací zkumavky. Pokud chceme látku vysoušet kratší dobu, je žádoucí vložit odsávací zkumavku do vyhřívané lázně a poté ji napojit na zdroj vakua. K dalšímu urychlení můžeme do odsávací zkumavky vložit také sušidlo (obr. 18). V případě, že chceme látku vysoušet delší dobu, je možné zvolit improvizovaný exsikátor z promývačky (obr. 19), jejíž horní část obsahuje kohout po vzoru exsikátorů připojených ke zdroji vakua⁴.



Obr. 18 **Vakuové sušení** (převzato z ⁴)
a – vysoušená látka
b – sušidlo v malé nádobce (P_2O_5)



Obr. 19 **Improvizovaný exsikátor** (převzato z ³)
a – sušidlo (P_2O_5)
b – skleněná vata
c – vysoušená látka

1.5. LABORATORNÍ CVIČENÍ Z ORGANICKÉ CHEMIE V RVP

V rámcovém vzdělávacím programu pro základní vzdělávání (RVP ZV)¹² nejsou laboratorní cvičení z organické chemie explicitně zmíněna. Vzdělávací obsah „organické sloučeniny“ v RVP ZV ale nechybí. Podle očekávaných výstupů a učiva tohoto vzdělávacího obsahu by se učitelé měli v hodinách chemie věnovat uhlovodíkům a jejich derivátům, palivům a přírodním látkám. Očekávané výstupy a učivo jsou podrobněji rozepsány v RVP ZV¹². Dále je již individuální, jak si každá škola vytvoří podle daných kritérií svůj školní vzdělávací program (ŠVP), případně i tematický plán, a do jaké míry se v rámci výuky organických sloučenin věnují experimentální části chemie¹².

V RVP ZV je sepsaný vzdělávací obsah „Pozorování, pokus a bezpečnost práce“. Tento vzdělávací obsah je určitým seznámením žáků s laboratorní výukou na druhém stupni základní školy a je pro žáky ideální a nezbytnou přípravou pro další práci v experimentálních hodinách chemie. Na základě získaných zkušeností pak mohou pracovat na pokusech, které se již budou týkat konkrétních částí teoretické chemie, a s látkami, se kterými žáci mohou přijít, s ohledem na jejich bezpečnost, do kontaktu. V kap. 1.5.1. uvádím přepis očekávaných výstupů a učiva, které je po žácích vyžadováno¹².

RVP pro gymnázia (RVP G)¹³ laboratorní cvičení z organické chemie také přímo nezmiňuje. RVP G obsahuje vzdělávací obsah „Organická chemie“, do něhož laboratorní cvičení k této teoretické části chemie řadíme¹³.

Laboratorní cvičení z organické chemie jsou nezbytnou součástí výuky chemie na středních školách. Míra jejich aplikace do výuky je ale individuální. Každá škola při tvorbě ŠVP zhodnotí potřebu experimentální výuky a na základě svých možností tomu danou výuku přizpůsobí. V kap. 1.5.2. uvádím přepis vzdělávacího obsahu „Organická chemie“, konkrétně očekávaných výstupů a učiva, které jsou zde uvedené¹³.

1.5.1. RVP ZV

Vzdělávací oblast: Člověk a příroda

Vzdělávací obor: Chemie

Vzdělávací obsah: Pozorování, pokus a bezpečnost práce

Očekávané výstupy¹²:

- Žák určí společné a rozdílné vlastnosti látek,

- žák pracuje bezpečně s vybranými dostupnými a běžně používanými látkami a hodnotí jejich rizikovost; posoudí nebezpečnost vybraných dostupných látek, se kterými zatím pracovat nesmí,
- žák objasní nejefektivnější jednání v modelových příkladech havárie s únikem nebezpečných látek.

Učivo¹²:

- Vlastnosti látek (hustota, rozpustnost, tepelná a elektrická vodivost, vliv atmosféry na vlastnosti a stav látek),
- zásady bezpečné práce – ve školní laboratoři i v běžném životě,
- nebezpečné látky a přípravky – H-věty, P-věty, piktogramy a jejich význam,
- mimořádné události – havárie chemických provozů, úniky nebezpečných látek.

1.5.2. RVP G

Vzdělávací oblast: Člověk a příroda

Vzdělávací obor: Chemie

Vzdělávací obsah: Organická chemie

Očekávané výstupy¹³:

- Žák zhodnotí vlastnosti atomu uhlíku významné pro strukturu organických sloučenin,
- žák aplikuje pravidla systematického názvosloví organické chemie při popisu sloučenin s možností využití triviálních názvů,
- žák charakterizuje základní skupiny organických sloučenin a jejich významné zástupce, zhodnotí jejich surovinové zdroje, využití v praxi a vliv na životní prostředí,
- žák aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na konkrétních příkladech,
- žák využívá znalosti základů kvalitativní a kvantitativní analýzy k pochopení jejich praktického významu v organické chemii.

Učivo¹³:

- Uhlovodíky a jejich klasifikace,
- deriváty uhlovodíků a jejich klasifikace,

- heterocyklické sloučeniny,
- syntetické makromolekulární látky,
- léčiva, pesticidy, barviva a detergenty.

1.6. LABORATORNÍ CVIČENÍ Z ORGANICKÉ CHEMIE V ŠVP

Každá škola vytváří vlastní ŠVP na základě platného RVP. Je tedy odpovědností každé školy, jaký si zvolí systém, zaměření výuky či hloubku učiva. Každý ŠVP je přizpůsoben odbornosti jednotlivých škol a je velmi obtížné jakkoli generalizovat jeho obsah napříč různými školami. Z těchto důvodů jsem zvolil ŠVP jednoho z plzeňských gymnázií, konkrétně Gymnázia Františka Křížíka. Většina gymnázií se věnuje všeobecné přípravě žáků na VŠ, i když některá z nich samozřejmě mají speciální vzdělávací obory zaměřené na konkrétní vzdělávací oblasti (přírodní vědy, cizí jazyky apod.). V této kapitole se však zaměřím na všeobecný obor, který na gymnáziích převažuje.

Gymnázium Františka Křížíka v Plzni nabízí uchazečům čtyřletý obor (kvinta až oktáva) a osmiletý obor (prima až oktáva). Osmiletý obor, na který se v této kapitole zaměřuji, je rozdělený na nižší a vyšší stupeň gymnázia¹⁴.

1.6.1. ŠVP PRO NIŽŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA

Pro nižší stupeň gymnázia na osmiletém oboru (prima až kvarta) je od 1. 9. 2022 platný ŠVP¹⁴ nazvaný „Vzdělání na míru“, který je zpracovaný podle RVP ZV¹². Předmět chemie je podle ŠVP¹⁴ vyučován od tercie do kvarty, což odpovídá 8. a 9. ročníku v klasickém devítiletém modelu základní školy, s časovou dotací 2 hodiny týdně. Podle učebního plánu není k dispozici žádná disponibilní časová dotace ke vzdělávací oblasti „Člověk a příroda“, do které mimo chemie spadají také předměty: vlastivěda, zeměpis, biologie, fyzika a přírodní vědy. Všechny předměty v této vzdělávací oblasti využívají dohromady 20 z 20 možných vyučovacích hodin týdně, případné úvahy o možném rozšíření časové dotace ve prospěch předmětu chemie by tak byly velmi složité, zejména pokud by tak bylo učiněno na úkor časové dotace jiného předmětu. Předmět chemie je realizován ve vyučovacích hodinách (45 minut) nebo v blocích, ve kterých probíhají laboratorní práce, projekty či exkurze. Výuka probíhá ve specializované učebně chemie, případně v kmenových třídách. V případě potřeby mohou učitelé k výuce využít multimediální učebnu nebo učebnu výpočetní techniky¹⁴.

Organická chemie je vyučována v kvartě. Hlavním tématem jsou „sloučeniny uhlíku“, z nichž se podrobněji zaměřují na uhlovodíky, paliva, deriváty uhlovodíků a přírodní látky. Dalším tématem v tomto ročníku je „chemie a společnost“ zabývající se zejména chemickým průmyslem v ČR, který je doprovázen průřezovými tématy, mezi nimiž bych zmínil zejména lidské aktivity a jejich dopad na přírodu a problémy životního prostředí¹⁴.

Laboratorní práce z organické chemie nejsou v ŠVP¹⁴ konkrétně uvedené. Některé experimenty s organickými látkami, které jsou učiteli využívány během vyučovacích hodin chemie, uvádím v kap. 1.8.1.

1.6.2. ŠVP PRO VYŠŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA

Pro vyšší stupeň gymnázia na osmiletém oboru (kvinta až oktáva) platí od 1. 9. 2015 ŠVP¹⁵ nazvaný „Vzdělání na míru“, který je zpracovaný podle RVP G¹³. Předmět chemie je vyučován v kvintě, sextě a septimě. Časová dotace je 2 hodiny týdně. Výuka probíhá v podobě klasických vyučovacích hodin (45 minut) nebo v blocích, které jsou zaměřeny na laboratorní cvičení. Výuku je možné realizovat i formou jednodenních či vícedenních exkurzí¹⁵.

Laboratorní cvičení jsou do výuky zařazena v kvintě a v sextě. Jsou zaměřena především na praktickou činnost žáků v laboratoři chemie. Podmínkou splnění daného cvičení je odevzdání laboratorního protokolu v počítačové podobě. Žáci jsou z důvodu kapacity laboratoře rozděleni do dvou skupin, které se střídají podle harmonogramu. Žáci v každém ročníku (kvintě i sextě) absolvují 34 vyučovacích hodin celkové laboratorní výuky. V kvintě je tento počet hodin rozdělen mezi chemii, biologii a fyziku. V sextě je tento počet hodin rozdělený pouze mezi chemii a fyziku¹⁵.

Výuka teoretické organické chemie začíná již v sextě po ukončení anorganické chemie. V tomto ročníku žáci získají teoretické znalosti např. o složení organických látek, typech vzorců a vazeb a o základních typech reakcí. Základním učivem je zde dále úvod do uhlovodíků (názvosloví, charakteristika skupin uhlovodíků, typy reakcí atd.). Zároveň s teoretickou výukou probíhají laboratorní cvičení z organické chemie, jejichž témata odpovídají právě probírané teoretické látce z organické chemie v klasických vyučovacích hodinách. Laboratorní cvičení probíhají formou blokované výuky v sudých a lichých týdnech, během nichž se v laboratoři střídají dvě předem rozdělené skupiny žáků¹⁵.

Zbývající témata z organické chemie jsou probírána až v následujícím ročníku (v septimě), ve kterém již laboratorní cvičení z organické chemie neprobíhají. Některá z těchto témat (karboxylové kyseliny, alkoholy, fenoly atd.) jsou však pro svou významnost a důležitost zařazena do laboratorních cvičení z organické chemie v sextě¹⁵.

Experimenty, které jsou zahrnuté do výuky během laboratorních cvičení z organické chemie, uvádím v kap. 1.8.2.

1.7. LABORATORNÍ CVIČENÍ Z ORGANICKÉ CHEMIE V UČEBNICÍCH PRO ZŠ A SŠ

V dnešní době existuje celá řada učebnic sloužících jako podpora pro výuku chemie na základních i středních školách. Starší učebnice jsou většinou zaměřeny buď jen na teoretickou, nebo jen na praktickou část chemie. Trendem poslední doby je do teoretických učebnic alespoň částečně zařazovat i experimenty pro laboratorní výuku, a to zejména do učebnic pro základní školy. Je tak kladen zvýšený důraz na laboratorní výuku či provádění jednoduchých experimentů již na druhém stupni základní školy. Z mého pohledu se jedná o pozitivní krok, který jen přispěje k větší atraktivitě předmětu chemie mezi žáky na základních školách.

Příkladem učebnice zaměřené pouze na teoretickou část organické chemie, jejíž první vydání bylo k zakoupení již v roce 2002, je *Chemie pro čtyřletá gymnázia* od autorů Honza a Mareček¹⁶. Tato učebnice je na středních školách poměrně rozšířená a často je žákům doporučována jako pomocný materiál ke studiu. Osobně jsem tuto učebnici na gymnáziu také využíval. Z mého pohledu je tato učebnice řešena obsahově kvalitně, ale je velmi nešťastně řešena zejména z pohledu zpracování grafické stránky a mnoho žáků tak může na první pohled nebo během jejího čtení odradit.

K laboratorní výuce organické chemie na střední škole byly, a na mnohých školách stále jsou, využívány učebnice se zaměřením na řadu různých typů experimentů. Jako příklady mohu uvést Hrstkou napsanou literaturu^{17,18}, která vyšla v roce 1998, ale na středních školách se s nimi můžeme stále často setkat i dnes. Svým zpracováním jsou velmi oblíbené a mnoho pedagogů je při svých hodinách chemie využívá, mj. pedagogové z Gymnázia Františka Křížíka v Plzni.

Jak jsem již uvedl výše, některé novější učebnice pro základní školy obsahují kromě teoretické části i praktickou část s experimenty, které navazují na probíranou látku a rozšiřují ji tak o cenné laboratorní zkušenosti, které žáci mohou získat. Existují však

také publikace, zejména z minulých let, pro základní školy, které jsou zaměřeny pouze na laboratorní výuku. K těmto učebnicím můžeme např. zařadit *Chemicko-biologická praktika* pro 7. a 8. ročník ZŠ, která zpracovali Pachmann¹⁹ a Beneš²⁰. Dnes se na základních školách nejvíce využívají moderní, graficky povedené a přehledně zpracované učebnice^{21,22,23}, které žákům značně usnadňují vstup do problematiky chemie. Tyto moderní učebnice obsahují teoretické i praktické kapitoly se zaměřením na laboratorní práci se vším, co taková práce obnáší, tedy i vypracování pracovních listů apod. Vypracování laboratorních protokolů je po žácích vyžadováno spíše až na střední škole. Na základních i středních školách žáci často dostanou od učitele pracovní list k vyplnění v průběhu samotné práce, který jim následně slouží také jako vhodný materiál ke studiu či podklad k vypracování laboratorního protokolu.

Mimo učebnic se můžeme setkat také s publikacemi, které jsou zaměřeny na podporu učitelů, kteří se chtějí učit, a ještě více zdokonalovat v předávání učiva žákům. Jako příklad bych rád uvedl literaturu od Mokrejšové²⁴, v níž se autorka zaměřuje zejména na motivační, demonstrační a žákovské pokusy s různou délkou trvání. Nalezneme zde experimenty trvající méně než 20 minut, ale také experimenty, které vyžadují na práci celý blok 2 vyučovacích hodin.

Učitelé při přípravách laboratorních cvičení vychází zejména ze zkušeností, které získávají na vysoké škole při praktických předmětech. Během těchto předmětů mají k dispozici řadu skript a externích materiálů, které se dají využít i na základních a středních školách, samozřejmě v přizpůsobené formě, kterou každá škola a konkrétní skupina žáků vyžaduje. Jako příklad mohu uvést např. literaturu⁹, která je i dnes mj. využívána na FPE ZČU v Plzni.

1.8. EXPERIMENTY ZAŘAZENÉ DO LABORATORNÍ VÝUKY ORGANICKÉ CHEMIE NA VYBRANÉ ŠKOLE

1.8.1. NIŽŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA

Na nižším stupni gymnázia, eventuálně v 8. a 9. třídě základní školy, se žáci setkávají s chemií poprvé. Většina experimentů, které učitelé v hodinách demonstrují, jsou prováděné z důvodu názornosti zejména v makroměřítku. Žáci tak jistě mohou lépe pochopit učivo a dané souvislosti. Výběr experimentů ze základní školy, které by se mohly ve výuce aplikovat i v semimikroměřítku, je tak značně omezen.

V této kapitole uvádím výběr některých experimentů kompletně popsanych v literatuře²⁵, které jsou zařazeny do výuky chemie na nižším stupni Gymnázia Františka Křižíka v Plzni. Princip jednotlivých experimentů uvádí literatura²⁵.

Pokus č. 1 – Důkaz C a H vázaných v uhlovodících²⁵

Pomůcky: kádinka, zápalky, hodinové sklo

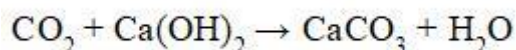
Chemikálie: parafinová svíčka, nasycený roztok Ca(OH)₂

Pracovní postup:

Do kádinky vložíme parafinovou svíčku. Svíčku zapálíme a kádinku přikryjeme hodinovým sklem. Po zhasnutí plamene svíčku vyndáme z kádinky. Do kádinky nalijeme nasycený roztok hydroxidu vápenatého. Kádinku rychle zakryjeme a obsah důkladně promícháme. Následně pozorujeme probíhající změny v kádince.

Pozorování:

Během hoření se velikost plamene zmenšuje, až dojde k úplnému zhasnutí. Stěny kádinky se orosily zkondenzovanou vodní párou. Po promíchání směsi s nasyceným roztokem hydroxidu vápenatého došlo ke vzniku bílého zákalu uhličitanu vápenatého.



Závěr:

V parafinové svíčce je obsažený uhlík a vodík.

Pokus č. 2 – Důkaz uhlíku²⁵

Pomůcky: kahan, zápalky, chemické kleště, 3 zkumavky, držák na zkumavky, porcelánový střep

Chemikálie: parafinová svíčka, cukr C₁₂H₂₂O₁₁, mouka, plastový kelímek

Pracovní postup:

- A) Pomocí chemických kleští vložíme porcelánový střep do plamene svíčky. Po vyjmutí z plamene pozorujeme změny na povrchu porcelánové střepu.
- B) Do 3 zkumavek postupně nasypeme mouku, cukr a kousek plastového kelímku. Zkumavky jednu po druhé uchopíme do držáku a zahříváme nad kahanem. Pozorujeme změny probíhající v jednotlivých zkumavkách.

Pozorování:

- A) Povrch porcelánu je pokrytý vrstvou černých sazí.
- B) Obsah všech zkumavek zčernal (zuhelnatěl).

Závěr:

Černé saze na porcelánovém střepu dokazují přítomnost uhlíku v parafinové svíčce. Zčernání obsahu ve 3 zkumavkách dokazují přítomnost uhlíku ve zkoumaných látkách.

Pokus č. 3 – Sublimace naftalenu²⁵

Pomůcky: kahan, zápalky, chemická lžička, váhy, azbestová síťka, vyšší kádinka, stojan s příslušenstvím, kulatá baňka, větvičky

Chemikálie: naftalen

Pracovní postup:

Do vyšší kádinky nasypeme přibližně 1 g naftalenu a doprostřed vložíme několik větviček. Do kulaté baňky nalijeme studenou vodu a překryjeme s ní kádinku s naftalenem. Kádinku poté zahříváme.

Pozorování:

Pozorujeme sublimaci naftalenu a kondenzaci jeho par na větvičkách a dnu kulaté baňky v podobě bílých vloček.

Závěr:

Sublimací jsme získali čistý naftalen.

Pokus č. 4 – Sublimace kyseliny benzoové²⁵

Pomůcky: hodinová skla (3x), nůžky, kahan, zápalky, filtrační papír, chemické kleště, trojnožka, váhy, chemická lžička, azbestová síťka

Chemikálie: kyselina benzoová, destilovaná voda

Pracovní postup:

Na hodinové sklo vložíme 2 g znečištěné kyseliny benzoové. Hodinové sklo překryjeme perforovaným filtračním papírem a přes něj překlopíme druhé hodinové sklo. Na povrch horního hodinového skla položíme vlhký filtrační papír. Spodní hodinové sklo velmi opatrně zahříváme na azbestové síťce. Na spodní straně horního hodinového skla vznikají krystalky přesublimované látky. Po sublimaci přeneseme krystalky na čisté hodinové sklo.

Pozorování:

Na spodní straně hodinového skla vznikají čisté krystalky kyseliny benzoové.

Závěr:

Sublimací znečištěné kyseliny benzoové získáme čisté krystalky kyseliny benzoové.

Pokus č. 5 – Vlastnosti detergentů (mýdel)²⁵

Pomůcky: váhy, odměrný válec, kapátka, zkumavky, chemická lžička, stojan na zkumavky

Chemikálie: vodný roztok vápenaté soli, toaletní mýdlo, motorový olej, alkoholický roztok fenolftaleinu, destilovaná voda

Pracovní postup:

Ve zkumavce smícháme asi 3 ml destilované vody a 0,5 g toaletního mýdla. Roztok následně rozdělíme do 3 zkumavek. Do první zkumavky přidáme pomocí kapátka 2 kapky alkoholického roztoku fenolftaleinu a pozorujeme změnu zbarvení. Do druhé zkumavky přidáme 2 kapky motorového oleje. Obsah zkumavky důkladně promícháme, aby vznikla emulze oleje. Pro srovnání v další zkumavce smícháme 1 ml destilované vody a několik kapek oleje. Zkumavku opět důkladně protřepeme. Do třetí zkumavky s mýdlovým roztokem přidáme 2 kapky roztoku vápenaté soli. Poté pozorujeme změny v jednotlivých zkumavkách.

Pozorování:

Rozpuštěním mýdla ve vodě získáme zakalený mýdlový roztok bílé barvy. Po přidání fenolftaleinu do první zkumavky dojde ke změně barvy zákalu z bílé na růžovou, protože mýdlo je alkalické.

Emulze se vytvoří nejdříve ve zkumavce s destilovanou vodou, až později ve zkumavce s mýdelným roztokem.

Po přidání vápenaté soli do mýdlového roztoku vznikne z bílého zákalu bezbarvý roztok, v němž plavou kousky bílé sraženiny nerozpustných vápenatých mýdel.

Závěr:

Provedli jsme důkazové reakce, na kterých jsme prokázali základní vlastnosti detergentu (toaletního mýdla).

Pokus č. 6 – Příprava mýdla ze sádla (zmýdelnění tuků)²⁵

Pomůcky: váhy, kádinka, kahan, zápalky, azbestová síťka, zkumavky, kapátka, porcelánový kelímek, chemická lžička, vodní lázeň, odměrné válce, trojnožka, stojan na zkumavky

Chemikálie: ethanol, roztok hydroxidu sodného (1:2), kyselina sírová, chlorid sodný, chlorid vápenatý, octan olovnatý, bromová voda, rostlinný olej, sádlo, destilovaná voda

Pracovní postup:

Do porcelánového kelímku smícháme 5 g sádla, 25 ml NaOH a 5 ml ethanolu (ethanol využíváme k urychlení procesu zmýdelnění). Směs zahříváme ve vodní lázni a během varu přidáváme destilovanou vodu.

A) Reakce mýdla

2 ml námi připraveného mýdla rozpustíme v 10 ml vody a protřepeme.

B) Příprava mastných kyselin z mýdla

1 ml mýdlového roztoku smícháme se zředěnou kyselinou sírovou, až dojde ke kyselé reakci.

C) Vysolení mýdla

Smícháme 2 ml mýdlového roztoku a půl lžičky krystalického chloridu sodného.

D) Vznik nerozpustného vápenatého mýdla

K 2 ml mýdlového roztoku přidáme přibližně půl lžičky chloridu vápenatého.

E) Vznik olovnaté soli

Smícháme 2 ml roztoku mýdla a 1 ml octanu olovnatého.

F) Vznik emulze

Ke 2 ml mýdelného roztoku přidáme 4 kapky rostlinného oleje a směs důkladně protřepeme.

Pozorování:

A) Vznikne pěna.

B) Vznikne ve vodě nerozpustná sraženina mastných kyselin.

C) Proběhne vysolení mýdla.

D) Vznikne nerozpustná sraženina vápenatého mýdla.

E) Vznikne sraženina olovnaté soli.

F) Vznikne emulze tuku ve vodě.

Závěr:

Pomocí alkalické hydrolýzy tuků jsme připravili mýdlo. S mýdlem jsme následně provedli důkazové reakce.

Pokus č. 7 – Příprava mastných kyselin z mýdla²⁵

Pomůcky: zkumavka, kapátko

Chemikálie: roztok mýdla, roztok kyseliny sírové

Pracovní postup:

Do zkumavky nalijeme 3 ml mýdelného roztoku a po kapkách přidáváme roztok kyseliny sírové. Pozorujeme změny ve zkumavce.

Pozorování:

Obsah zkumavky se rozdělí na dvě vrstvy. Horní vrstva obsahuje mastné kyseliny, které po krátké době ve zkumavce ztuhnou.

Závěr:

Kyselina sírová způsobí přeměnu mýdla na mastné kyseliny.

Pokus č. 8 – Alkoholové kvašení sacharidů²⁵

Pomůcky: baňka (250 cm³), odměrný válec, kvasná zátka, chemická lžička, 3 kádinky (2x 100 cm³, 250 cm³), váhy, třecí miska s tloučkem

Chemikálie: dusičnan vápenatý, dusičnan draselný, cukr C₁₂H₂₂O₁₁, kvasnice, chlorid hořečnatý, destilovaná voda, hydrogenfosforečnan draselný

Pracovní postup:

V kádince připravíme roztok 20 g cukru a 160 ml vody. Roztok přelijeme do baňky a přidáme 4 g kvasnic rozetřených s vodou. Do baňky přidáme roztok 1 g dusičnanu draselného, 0,5 g hydrogenfosforečnanu draselného, 0,5 g chloridu hořečnatého a 0,5 g dusičnanu vápenatého v 50 ml vody. Poté baňku uzavřeme kvasnou zátkou a necháme ji stát na teplém místě.

Závěr:

Připravili jsme roztok pro alkoholové kvašení.

Pokus č. 9 – Důkaz škrobu²⁵

Pomůcky: zkumavka, kahan, kapátko (pipeta), zápalky, držáky na zkumavky

Chemikálie: škrob, roztok jodu

Pracovní postup:

Do zkumavky nalijeme 3 ml škrobu a přidáme asi 2-3 kapky roztoku jodu. Pozorujeme změny ve zkumavce. Poté směs zahřejeme a opět pozorujeme probíhající změny. Následně zkumavku ochladíme proudem studené vody a opět pozorujeme.

Pozorování:

Po přidání roztoku jodu do škrobu dojde k vytvoření tmavě modrého roztoku. Zahřátím dojde k odbarvení a po prudkém ochlazení se tmavě modrá barva opět navrácí.

Závěr:

Škrob jsme dokázali tmavě modrým zbarvením roztoku po přidání roztoku jodu.

Pokus č. 10 – Důkaz a vlastnosti bílkovin²⁵

Pomůcky: kapátka, stojan na zkumavky, 4 zkumavky, vejce

Chemikálie: hydroxid sodný (10%, 40%), konc. kyselina dusičná, konc. kyselina chlorovodíková, síran měďnatý (1%, nasycený roztok), uvařené vejce, roztok vaječného bílku

Pracovní postup:

- A) Uvaříme vejce natvrdo a oloupeme. Bílek následně pokapeme kyselinou dusičnou a pozorujeme.
- B) Do zkumavky přidáme 2ml vaječného bílku a 2 ml 10% hydroxidu sodného. Po kapkách přidáváme 1% síran měďnatý a pozorujeme změny.
- C) Připravíme si 3 zkumavky a do každé přidáme 2 ml vaječného bílku. Do první zkumavky přikápneme 40% hydroxid sodný, do druhé zkumavky přidáme kyselinu chlorovodíkovou a do třetí zkumavky přidáme nasycený roztok síranu měďnatého. Pozorujeme změny v jednotlivých zkumavkách.

Pozorování:

- A) Bílek uvařeného vejce se zbarví žlutě.
- B) Roztok ve zkumavce se zbarví do modrofialové až červenofialové barvy.
- C) Ve všech zkumavkách došlo ke vzniku sraženiny.

Závěr:

Různá zbarvení a vznik sraženin jsou důkazem přítomnosti bílkovin. Reakcí s minerálními kyselinami a některými solemi dochází ke srážení bílkovin.

1.8.2. VYŠŠÍ STUPEŇ GYMNÁZIA

Na tomto stupni se žáci setkávají poprvé s klasickým průběhem laboratorních cvičení. Žáci jsou rozděleni do pracovních skupin (nejčastěji po dvojicích) a každá skupina pracuje na zadaném úkolu samostatně. Žáci rozvíjí své schopnosti ve vzájemné spolupráci a komunikaci, a také se učí pečlivosti a přesnosti, což jsou naprosto klíčové dovednosti pro úspěšnou práci v laboratoři chemie.

Tak jako na nižším stupni, i zde probíhá mnoho pokusů v makroměřítku mj. z důvodu lepší názornosti experimentů. Na vyšším stupni gymnázia jsou však prováděny i pokusy, které je v určitých případech vhodnější nahradit modifikovanými postupy v semimikroměřítku. Následný výběr pokusů pro práci v semimikrotechnice tedy není tolik omezen, jako na nižším stupni gymnázia.

V této kapitole uvádím výběr některých experimentů kompletně popsanych v literatuře²⁵, které jsou zařazeny do výuky chemie na vyšším stupni Gymnázia Františka Křižíka v Plzni. Princip jednotlivých experimentů uvádí literatura²⁵.

Pokus č. 1 – Příprava a destilace ethanolu²⁵

Pomůcky: stojan s příslušenstvím, zkumavka, teploměr, varná baňka s rovným dnem (250 cm³), porcelánová miska, odměrný válec (250 cm³), zátka s kvasnou rourkou, váhy, špejle, zápalky, zátka do baňky s otvorem pro teploměr, azbestová síťka, chladič, filtrační papír, kahan

Chemikálie: nasycený roztok hydroxidu vápenatého, roztok sacharosu, droždí

Pracovní postup:

Do varné baňky vlijeme roztok sacharosu a přidáme 1 g droždí. Varnou baňku uzavřeme kvasnou rourkou s roztokem hydroxidu vápenatého a necháme několik dní kvasit. Po ukončení procesu kvašení k varné baňce přes zátku připojíme chladič s teploměrem. Směs následně zahříváme a destilát při teplotě 78-80 °C jímáme do zkumavky. Po ukončení destilace destilát přelijeme do porcelánové misky a zapálíme pomocí hořící špejle.

Pozorování:

Destilát po přiložení hořící špejle hoří. V kvasné rource se vytvořil bílý zákal.

Závěr:

Destilátem byl ethanol, který je hořlavý. Bílý zákal v kvasné rource tvořil uhličitán vápenatý, čímž jsme dokázali uvolňování CO₂ při kvašení.

Pokus č. 2 – Esterifikace²⁵

Pomůcky: odměrný válec, stojan na zkumavky, zápalky, zkumavky, kahan, kádinka se studenou vodou, držák na zkumavky

Chemikálie: ethanol, konc. kyselina sírová, konc. kyselina mravenčí

Pracovní postup:

Do vodou chlazené zkumavky smícháme 2 ml ethanolu a 4 ml kyseliny sírové. Po zchladnutí směs přelijeme do druhé zkumavky s 1 ml kyseliny mravenčí. Směs zahříváme.

Pozorování:

Po chvilce zahřívání směsi ucítíme vůni charakteristickou pro mravenčan ethylnatý.

Závěr:

Reakcí kyseliny mravenčí s ethanolom jsme připravili mravenčan ethylnatý. Tato reakce katalyzovaná kyselinou sírovou se nazývá esterifikace.

Pokus č. 3 – Oxidace methanolu a ethanolu²⁵

Pomůcky: zkumavky, stojan na zkumavky, kahan, zápalky, kapátka, držák na zkumavky, pinzeta, chemická lžička

Chemikálie: methanol, ethanol, kyselina sírová, manganistan draselný, dichroman draselný, měděný drát, Schiffovo činidlo

Pracovní postup:

A) Oxidace methanolu

Do čisté zkumavky nejprve dáme několik kapek methanolu a zkumavku vložíme do stojanu na zkumavky. Do pinzety uchopíme měděný drát a zahřejeme ho nad kahanem až do červeného žáru. Po vyjmutí drátu z plamene se ujistíme, že se na povrchu měděného drátu vytvořila černá vrstva oxidu měďnatého, a ještě za horka drát vložíme do předem připravené zkumavky s methanolem. V momentě, kdy ze zkumavky ucítíme zápach formaldehydu, přidáme 2 kapky Schiffova činidla.

B) Oxidace ethanolu

Připravíme si 2 zkumavky a do každé přidáme 1 ml ethanolu. Do první zkumavky přidáme malé množství manganistanu draselného a zkumavku zahřejeme nad kahanem až do změny barvy. Následně přidáme k ověření pár kapek Schiffova činidla. Do druhé zkumavky nalijeme 0,5 ml kyseliny sírové

a přidáme 1 ml dichromanu draselného. Zkumavku opět zahřejeme nad kahanem až do změny barvy. Jakmile ucítíme zápach acetaldehydu, ověříme jej opět pomocí Schiffova činidla.

Pozorování:

- A) Černý povrch měděného drátu se po vložení do methanolu mění ve zlatavý a po chvíli je cítit zápach formaldehydu. Po přidání Schiffova činidla se bezbarvý roztok změnil v malinový a jeho intenzita postupem času rostla.
- B) V první zkumavce pozorujeme po zahřátí změnu barvy z fialové na hnědou a cítíme zápach acetaldehydu. Vzniklý acetaldehyd ověříme přidáním Schiffova činidla a změnou barvy na malinovou. Ve druhé zkumavce opět pozorujeme po zahřátí změnu barvy z oranžové na modro-zelenou a cítíme zápach acetaldehydu. Přidáním Schiffova činidla se barva roztoku znovu změnila v malinovou.

Závěr:

Oxidací methanolu získáme formaldehyd. Oxidací ethanolu připravíme acetaldehyd. Oba výsledné produkty jsme dokázali čichovou zkouškou a Schiffovým činidlem za vzniku roztoku malinové barvy.

Pokus č. 4 – Důkaz uhlíku a vodíku²⁵

Pomůcky: stojan s příslušenstvím, váhy, zátka, odměrný válec, zápalky, zkumavky, chemická lžička, kahan, skleněná trubička, vata

Chemikálie: glukosa, oxid měďnatý, barytová voda, bezvodý síran měďnatý

Pracovní postup:

Do výšky asi 1 cm ode dna zkumavky nasypeme oxid měďnatý. Do zkumavky vložíme asi 0,1 g glukosy a směs důkladně promícháme. Do horní části zkumavky umístíme malý kousek vaty, na který nasypeme souvislou vrstvu síranu měďnatého. Zkumavku následně uzavřeme perforovanou zátkou, skrz kterou prochází skleněná trubička odvádějící vznikající plyn. Skleněnou trubičku zavedeme až ke dnu druhé zkumavky, do které jsme nalili 5 ml barytové vody. První zkumavku následně zahříváme.

Pozorování:

Reakcí vznikne modrý síran měďnatý a sraženina uhličitanu barnatého.

Závěr:

Přítomnost uhlíku a vodíku v organické sloučenině jsme dokázali vznikem oxidu uhličitého, jenž reagoval s barytovou vodou. Vznikla bílá sraženina uhličitanu barnatého.

Dalším produktem reakce byla voda, která reakcí se síranem měďnatým vytvořila pentahydrát síranu měďnatého.

Pokus č. 5 – Příprava kyseliny benzoové oxidací toluenu²⁵

Pomůcky: tyčinka, zkumavka, držák na zkumavky, stojan s příslušenstvím, nůžky, pipety, kahan, kapátko, zápalky, filtrační nálevka, kádinka, filtrační papír

Chemikálie: toluen, kyselina sírová (10%), manganistan draselný

Pracovní postup:

Ve zkumavce smícháme 3 ml toluenu s 3 ml manganistanu draselného, který okyselíme kyselinou sírovou. Obsah zkumavky důkladně promícháme a zahřejeme nad kahanem. Po odbarvení roztok za horka přefiltrujeme a ochladíme.

Pozorování:

Fialová barva roztoku po zahřátí zmizí v důsledku oxidace toluenu na kyselinu benzoovou.

Závěr:

Výsledkem reakce jsou vyloučené bezbarvé krystaly kyseliny benzoové.

Pokus č. 6 – Vlastnosti kyseliny octové²⁵

Pomůcky: kapátko, Petriho miska (2x)

Chemikálie: hydroxid sodný, fenolftalein, ocet (8%), hořčiková páska

Pracovní postup:

- A) Do Petriho misky nalijeme hydroxid sodný. Přidáme 2 kapky fenolftaleinu a následně do středu Petriho misky přikapáváme ocet. Pozorujeme probíhající změny.
- B) Do Petriho misky nalijeme ocet a vložíme hořčikovou pásku. Pozorujeme reakci.

Pozorování:

- A) Přidáním octa probíhá v Petriho misce neutralizace. Roztok se odbarvuje.
- B) Reakcí octa (kyseliny octové) a kovu se pozvolna vyvíjí vodík.

Závěr:

Reakcí A) vzniká octan sodný. Reakcí B) vzniká octan hořečnatý a vodík.

Pokus č. 7 – Titrace kyseliny octové hydroxidem sodným²⁵

Pomůcky: kahan, pipeta, vodní lázeň, stojan s příslušenstvím, zápalky, hodinové sklo, titrační baňka (100 cm³), byreta, nálevka, azbestová síťka, trojnožka

Chemikálie: kyselina octová, hydroxid sodný, fenolftalein, destilovaná voda

Pracovní postup:

10 ml kyseliny octové nalijeme do titrační baňky a poté přidáme několik kapek fenolftaleinu jako indikátor. Byretu naplníme hydroxidem sodným. Zahájíme titraci. Proces titrace ukončíme přesně v momentě, kdy dojde za stálého míchání ke zružovění roztoku v titrační baňce. Na hodinové sklo následně nalijeme malou část objemu z titrační baňky a opatrně vysušíme na vodní lázni. Po vysušení získáme pevný octan sodný. Octan sodný následně rozpustíme ve vodě a přidáme fenolftalein. Pozorujeme změny.

Pozorování:

Hydrolyzou octanu sodného vzniká hydroxid sodný, který díky přítomnosti fenolftaleinu vykáže fialové zbarvení, protože pH roztoku je větší než 7.

Závěr:

Titrací hydroxidem sodným jsme připravili octan sodný.

Pokus č. 8 – Příprava fenolftaleinu²⁵

Pomůcky: vaříč, chemická lžička, třecí miska s tloučkem, zkumavka, kapátka

Chemikálie: kyselina sírová, fenol, ethanol, hydroxid sodný (10%), ftalanhydrid

Pracovní postup:

Rozetřeme 0,1 g ftalanhydridu a vložíme jej do zkumavky. Dále přidáme 0,1 g fenolu a 3 kapky kyseliny sírové. Směs ve zkumavce zahřejeme na vaříči a následně zchladíme. Přidáme 2 ml ethanolu a několik kapek vzniklého roztoku přelijeme do zkumavky s roztokem hydroxidu sodného.

Pozorování:

Roztok se zbarví červeně v důsledku alkalického prostředí.

Závěr:

Reakcí fenolu s ftalanhydridem jsme získali fenolftalein.

Pokus č. 9 – Sublimace kofeinu²⁵

Pomůcky: filtrační papír, hodinová skla, stojan s příslušenstvím, lžička, elektrický vaříč, váha

Chemikálie: suché čajové lístky

Pracovní postup:

Na hodinové sklo vložíme přibližně 0,5 g suchých čajových lístků a přikryjeme je druhým hodinovým sklem. Hodinová skla umístíme nad elektrický vaříč a opatrně zahříváme. Na horní hodinové sklo umístíme vlhký filtrační papír k ochlazení.

Pozorování:

Na spodní části horního skla vznikají bílé krystalky kofeinu.

Závěr:

Sublimací jsme získali bílé krystalky kofeinu.

1.9. NÁVRH VHODNÝCH EXPERIMENTŮ PRO ZŠ A SŠ S VYUŽITÍM METOD SEMIMIKROTECHNIKY

Již ve své bakalářské práci² uvádím experimenty, z nichž některé lze doporučit pro využití na středních školách. Většina těchto experimentů je náročná na přípravu i vlastní provedení (mj. i časově) a neslučovaly by se se zásadami bezpečnosti práce pro žáky na základní škole. Velmi vhodné experimenty pro základní školy uvádím na základě literatury²⁵ již v kap. 1.8.1. Převažují v nich spíše motivační a demonstrační pokusy prováděné pro lepší přehlednost v makroměřítku, i tak se mezi nimi ale setkáme s experimenty, které svými kvanty látek spadají do semimikroměřítku. K vlastní modifikaci experimentu za využití metod semimikrotechniky jsem pro základní školu vybral sublimaci naftalenu, které se experimentálně věnuji v kap. 2.1.1.

Jako příklad experimentu pro střední školu lze uvést přípravu benzenu, které se dále věnuji v kap. 2.1.2. Tento experiment popisuje např. Požárová²⁵ nebo Koutenkova²⁶ ve své diplomové práci, která jej převzala z literatury²⁷.

Postup přípravy benzenu je téma, které teoreticky zmiňuji ve své bakalářské práci², kde v závěru mj. uvádím snahu o jeho ověření a případné zdokonalení v diplomové práci za využití metod semimikrotechniky.

1.10. VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ REALITY V LABORATORNÍ VÝUCE ORGANICKÉ CHEMIE

Jak jsem zmínil již v úvodu této práce, VR je v dnešní době velmi populární a je jednou z možností, jak vést moderní výuku chemie, zejména pak výuku laboratorní. Jednou z hlavních výhod VR je to, že si žáci mohou vyzkoušet laboratorní práci s látkami, se kterými v laboratoři z bezpečnostních důvodů normálně pracovat nesmí. Možnosti využití VR jsou pro školy stále značně omezené, a to především z důvodu nedostatku financí či nedostatku učitelů, kteří by dokázali potenciál VR naplno využít. Vzhledem k tomu, že je tato vzdělávací metoda ve školách ve svých začátcích, je mnoho témat, které zatím nejsou vhodně naprogramované, nebo nejsou naprogramované vůbec. Realizaci této problematiky se věnuje mnoho firem, ve kterých jsou mj. zaměstnání jak programátoři a IT specialisté, tak pedagogové z praxe, kteří mají funkci odborných koordinátorů a tvůrců obsahu dané vyučovací hodiny, metodických listů, případně

pracovních listů. Jako příklad mohu uvést plzeňskou společnost VR Training s.r.o.²⁸, která na svých internetových stránkách představuje nabídku VR School.

V této kapitole bych rád představil příklad využití VR, který je vhodný k zařazení do laboratorní výuky chemie na základních či středních školách. Jedná se o experiment s koncentrovanou kyselinou sírovou, se kterou žáci nesmí z důvodu dodržení zásad bezpečnosti pracovat. Konkrétně se jedná o dehydrataci cukru²⁹.

Na Gymnáziu Františka Křížíka je VR během laboratorní výuky již úspěšně využívána, mj. i k experimentu s dehydratací cukru kyselinou sírovou. Po konzultaci s vyučující z této školy, a s jejím souhlasem, zde uvedu metodický list (viz níže), který se váže ke zmíněnému experimentu, a dále odkazy na online prezentaci a motivační video, které slouží jako doplňující výukový materiál do vyučovací hodiny s využitím VR²⁹.

Metodický list – dehydratace cukru²⁹

Téma: Kyselina sírová / Cukr

Časová dotace: 45 min

Předmět: Chemie

Ročník: 8. ročník

Výchovně vzdělávací cíle: (vědomosti, dovednosti, postoje, výstupy)

- Žák popíše vlastnosti kyseliny sírové.
- Žák se zamýšlí nad výrobou kostkového cukru.
- Žák ověřuje nebezpečnost bílého cukru.

Učivo: Kyseliny, cukry, dehydratace

Klíčové pojmy: kyselina sírová, uhlík, cukr, dehydratace

Výukové metody: heuristická metoda, vysvětlování, výklad, diskuze, rozhovor

Výukové formy: hromadná (frontální), individualizovaná, skupinová práce

Pomůcky: kufr VR School, pracovní listy pro žáky (není nutné), BYOD

Odkaz²⁹ na motivační video – „Kostka cukru je pro cizince totálně exotický vynález“:
<https://www.stream.cz/jak-nas-vidi-svet/kostka-cukru-je-pro-cizince-totalne-exoticky-vynalez-64153412>

Odkaz²⁹ na online prezentaci s kvízem na téma „Kyseliny“: <https://quizizz.com/join/pre-game/running/U2FsdGVkX1%252FJLUx4okxx9W5ZH6hI50V4i2N6iuCVXzCL6s6DC%252BWA2f0613YPKXWqQx%252Fo31C4dy25H1BI4%252Fbgeq%253D%253D/start>

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části práce se věnuji laboratornímu provedení vybraných experimentů pro základní a střední školy a víceletá gymnázia. Smyslem této práce je na základě literatury modifikovat již využívané postupy a metody v jednotlivých experimentech právě v semimikroměřítku. Tyto modifikace následně ověřím v laboratoři na katedře chemie FPE v Plzni. Výstupem každého modifikovaného experimentu je pracovní list, jenž učitel může žákům rozdat před zahájením samotné práce, aby se s ním žáci mohli seznámit. Pracovní list obsahuje mj. úkoly, které žáci mohou plnit během laboratorní práce.

Vybraný experiment ověřím na Gymnáziu Františka Křížíka v Plzni za asistence vyučující chemie na této škole.

Při laboratorní práci s jednotlivými experimenty budu používat taková množství látek, aby odpovídala shodě mezi autory^{3,4,5} pro práci v semimikroměřítku. Rozmezí hodnot pro hmotnost a objem látek v semimikroměřítku jsem zmínil již v kap. 1.1.

2.1. OVĚŘENÍ EXPERIMENTŮ PRO ZŠ A SŠ V LABORATOŘI

V kap. 2.1.1.1. a 2.1.2.1. popisují vlastní provedení experimentů, jejichž zpracování, jak je ve zmíněných kapitolách uvádím, je možné využít jako laboratorní návod pro žáky základních či středních škol. Ke každému experimentu také přikládám pracovní list (viz kap. 2.1.1.2 a 2.1.2.2.). Při využití laboratorního návodu s pracovním listem současně, by bylo vhodné laboratorní návod upravit tím způsobem, aby žáci pouze nepřepisovali do pracovního listu správné odpovědi na jednotlivé úkoly.

Pro žáky základní školy a nižšího stupně gymnázia doporučuji laboratorní návod upravit tak, aby byl pro žáky co nejvíce srozumitelný a co nejkonkrétnější, zejména pak v jednotlivých krocích pracovního postupu (viz kap. 2.2.1.).

Doporučená úprava laboratorního návodu pro žáky střední školy by v případě jeho využití s pracovním listem zahrnovala ponechání pouze těchto částí: téma, pomůcky, chemikálie a pracovní postup. Případná úprava pracovního postupu z důvodu jeho lepšího pochopení ze strany žáků by již záležela na konkrétních vyučujících a potřebách dané skupiny žáků.

Pracovní list slouží jako výstup laboratorní práce a také jako studijní materiál pro žáky. I v případě, že žáci během laboratorního cvičení pracují ve skupině, vypracuje pracovní list každý žák v rámci samostatné práce a na konci laboratorního cvičení jej

odevzdá učiteli ke kontrole a k hodnocení. Pracovní list by učitel žákům následně vrátil, aby jej mohli využít jako studijní materiál. Další možnou formou kontroly pracovního listu může být společná kontrola vedená učitelem v závěru vyučovací hodiny nebo laboratorního cvičení.

Správné odpovědi na některé úkoly v pracovních listech jsou dohledatelné v kap. 2.1.1.1. a 2.1.2.1., případně mohou žáci správné odpovědi vyhledat v jiných dostupných materiálech (učebnice, sešit s poznámkami, internet). Je na uvážení každého učitele, jak obsáhlý laboratorní návod by žákům poskytl a kolik informací ke správnému vyplnění pracovního listu by bylo možné v něm nalézt. Především se v pracovních listech ale jedná o úkoly, které žáci plní na základě průběhu a pozorování konkrétního experimentu, aby byly vhodně rozvíjeny klíčové kompetence k učení a k řešení problému.

2.1.1. SUBLIMACE NAFTALENU

Sublimace naftalenu je experiment, který je prováděn i na nižším stupni Gymnázia Františka Křižíka v Plzni (viz kap. 1.8.1. – pokus č. 3). Díky své jednoduchosti je vhodný především pro základní školy jako motivační nebo demonstrační experiment, ale jeho využití na středních školách není pochopitelně nijak omezeno a závisí jen na uvážení daného pedagoga, zda jej využije. V této kapitole se pokusím vybraný experiment modifikovat s využitím metod semimikrotechniky. V tomto případě využiji sublimaci mezi dvěma hodinovými skly, kterou uvádím v kap. 1.4.8. Tuto metodu popisuje např. literatura^{3,4}.

2.1.1.1. VLASTNÍ PROVEDENÍ EXPERIMENTU

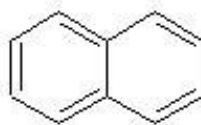
Téma:

Sublimace naftalenu

Princip:

Naftalen je aromatická, bílá a krystalická látka, která za normálního tlaku snadno sublimuje při teplotách nižších, než je jeho teplota tání (80,2 °C) a po následném ochlazení jeho páry kondenzují³⁰.

Sublimace je výborná separační metoda k dokonalému čištění látek.



naftalen

Bezpečnost:

Naftalen je nebezpečná, hořlavá a při požití zdraví škodlivá látka. Je toxický pro vodní organismy. Může způsobit např. zánět oční rohovky, bolest hlavy či podráždění žaludku. V horších případech pak mj. vede i k rozkladu červených krvinek či nekróze jater^{25,30}. **Pracujeme v digestoři!**

Pomůcky:

2x hodinové sklo (průměr 12 cm), váha, lžička, třecí miska s tloučkem, nůžky, filtrační papír, laboratorní stojan, křížová svorka, kovový kruh, azbestová síťka, zápalky, Bunsenův kahan, stříčka

Chemikálie:

naftalen C₁₀H₈, destilovaná voda

Pracovní postup:

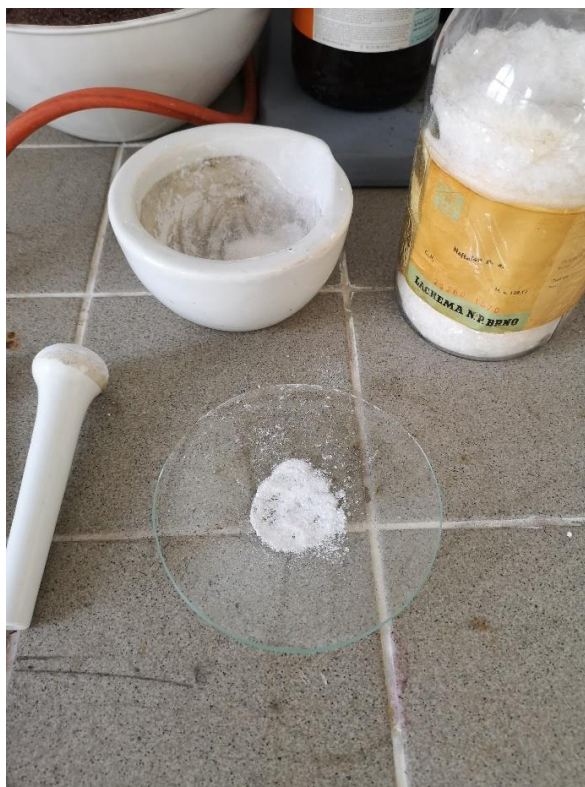
1. Připravíme jednoduchou aparaturu k sublimaci naftalenu (viz. obr. 20).
2. Vystříháme filtrační papír ve tvaru kruhu o průměru mírně větším, než je průměr hodinového skla. Vystřižený filtrační papír v jeho prostřední části několikrát perforujeme.
3. Navážíme 0,5 g naftalenu a v třecí misce jej nejemno rozetřeme. Poté rozetřený naftalen umístíme na hodinové sklo a rovnoměrně ho rozvrstvíme (obr. 21).
4. Hodinové sklo s naftalenum zakryjeme perforovaným filtračním papírem tak, aby papír mírně přesahoval přes okraje hodinového skla.

5. Pevně přiklopíme druhým (stejně velkým) hodinovým sklem (obr. 22) a následně takto připravená hodinová skla umístíme na azbestovou síťku v předem zhotovené aparatuře.
6. Horní hodinové sklo chladíme vlhkým filtračním papírem a začneme mírně zahřívát (obr. 23). Během zahřívání můžeme v případě potřeby zvlhčovat chladící filtrační papír destilovanou vodou pomocí stříčky.
7. Přesublimovaný naftalen zvažíme.



Obr. 20 Součásti aparatury k sublimaci naftalenu

- 1 – Bunsenův kahan
- 2 – laboratorní stojan
- 3 – křížová svorka
- 4 – kovový kruh
- 5 – azbestová síťka



Obr. 21 Rozetřený naftalen na prvním (spodním) hodinovém skle



Obr. 22 Přiklopení perforovaného filtračního papíru druhým (horním) hodinovým sklem



Obr. 23 Chlazení horního hodinového skla vlhkým filtračním papírem

Pozorování:

Naftalen začal sublimovat a na horním hodinovém skle se vytvořily číré krystalky čistého naftalenu (viz obr. 24).

Výsledek:

Hmotnost čistého naftalenu po sublimaci je 0,1 g.

Závěr:

Sublimací 0,5 g naftalenu na hodinovém skle jsme získali 0,1 g čistého naftalenu.



Obr. 24 Přesublimovaný naftalen

2.1.1.2. PRACOVNÍ LIST

Laboratorní práce č. 1

Jméno a příjmení:

Datum:

Téma: Sublimace naftalenu

Úkoly:

A. Vyhledej v učebnici, v sešitě, případně na internetu vlastnosti naftalenu a rozhodni, zda budeš muset pracovat v digestoři. ANO NE

1. Uveď vlastnosti naftalenu:

.....
.....

2. Jaká je hodnota teploty tání naftalenu? Odpověď°C

B. Proved' sublimaci naftalenu mezi dvěma hodinovými skly.

1. Na základě již získaných znalostí a průběhu experimentu doplň správná slova do níže uvedeného textu.

Sublimace je výborná separační metoda klátek. Mírným zahříváním naftalenu za normálního tlaku dochází k sublimaci, tedy změně skupenství na Páry naftalenu na horním hodinovém skle vytváří látku.

2. Uveď strukturní a sumární vzorec naftalenu.

Strukturní vzorec

Sumární vzorec

3. Pomůcky a chemikálie:

.....
.....
.....

4. Popiš v jednotlivých krocích postup práce.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. Nakresli schéma aparatury.

6. Pozorování a výsledky:

.....

.....

.....

.....

7. Závěr:

.....

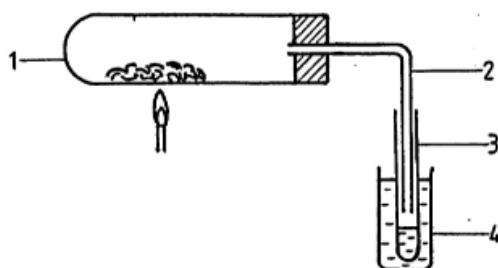
.....

.....

2.1.2. PŘÍPRAVA BENZENU

Při přípravě benzenu dekarboxylací kyseliny benzoové ve směsi s oxidem vápenatým využijeme modifikovanou aparaturu (obr. 25), kde vznikající benzen kondenzuje ve vodou chlazené zkumavce.

Tento experiment doporučuji pro střední školy.



Obr. 25 **Modifikovaná aparatura k přípravě benzenu** (převzato z ^{26,27})

- 1 – zkumavka s reakční směsí
- 2 – odvodná skleněná trubice
- 3 – jímadlo benzenu (zkumavka)
- 4 – chladicí kádinka se studenou vodou

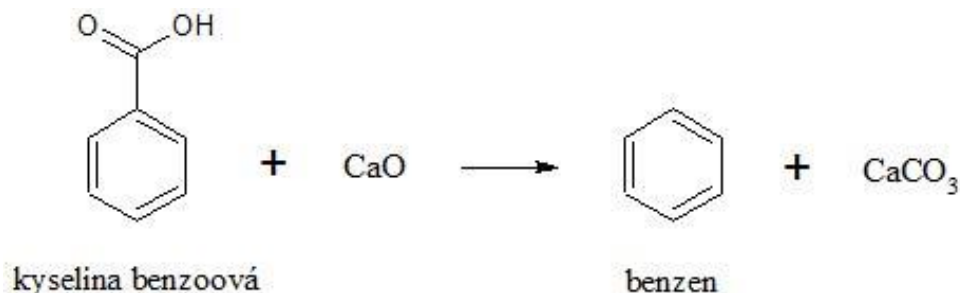
2.1.2.1. VLASTNÍ PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Téma:

Příprava benzenu

Princip:

Ze schématu chemické reakce (viz níže) je patrné, že příprava benzenu je založena na dekarboxylaci (tj. odštěpení karboxylové skupiny v podobě oxidu uhličitého) kyseliny benzoové ve směsi s oxidem vápenatým.



Bezpečnost:

Benzen patří mezi bezbarvé aromatické uhlovodíky. Je to hořlavá a toxická kapalina s karcinogenními účinky. Při vdechnutí malého množství může dojít k pocitu únavy, bolesti hlavy či ztrátě vědomí. Při vdechnutí většího množství benzenu může nastat i smrt³¹.

Kyselina benzoová je bezbarvá až bílá krystalická látka. Řadí se mezi zdraví škodlivé látky. Dráždí kůži, dýchací orgány a oči. Při nadměrném požití může vyvolat astma, zánět nosní sliznice nebo anafylaktický šok³². **Pracujeme v digestoři!**

Pomůcky:

velká zkumavka, pryžová zátka, skleněná trubice, malá zkumavka, kádinka, kahan, laboratorní stojan, křížová svorka, kovový držák, zápalky

Chemikálie:

kyselina benzoová, oxid vápenatý

Pracovní postup:

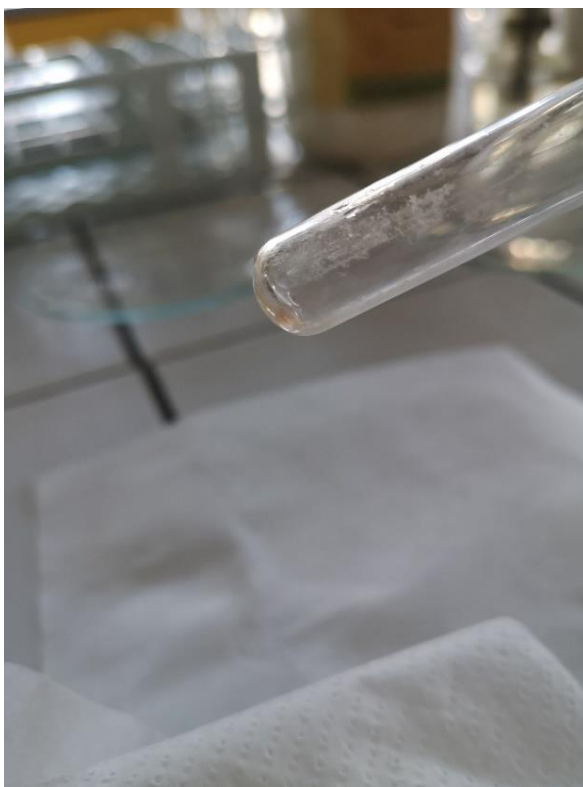
1. Připravíme aparaturu k přípravě benzenu podle obr. 25.
2. Navážíme 0,25 g kyseliny benzoové a 0,5 g oxidu vápenatého.
3. Směs promícháme a vložíme do velké zkumavky. Zkumavku poté uzavřeme pryžovou zátkou se skleněnou trubicí a vodorovně ji upevníme do připravené aparatury. Je vhodné aparaturu mírně naklonit, aby vznikající benzen lépe odtékal skrz skleněnou trubicí do malé chlazené zkumavky (viz obr. 26).

4. Směs ve velké zkumavce zahříváme do ukončení reakce (asi 15 minut).



Obr. 26 Příprava benzenu

- 1 – Bunsenův kahan
- 2 – laboratorní stojan
- 3 – křížová svorka
- 4 – kovový držák
- 5 – skleněná trubice
- 6 – zkumavka k jímání benzenu
- 7 – vysoká kádinka se studenou vodou



Obr. 27 Výsledné množství benzenu

Pozorování:

Vznikající páry benzenu kondenzují částečně již v dlouhé odvodné skleněné trubici a pak ve vodou chlazené zkumavce. Připravili jsme velmi malé množství benzenu (viz obr. 27).

Výsledky:

Vzhledem k velmi malému množství připraveného benzenu jsem jeho objem neměřil.

Koutenková²⁶ např. uvádí vlastní výtěžek 53 % oproti teoretickému výtěžku, což při jejích počátečních množstvích látek (0,5 g kyseliny benzoové a 1 g oxidu vápenatého) odpovídá výslednému množství 0,17 g benzenu. Při přepočtu na objem podle vzorce:

$$V = m / \rho$$

kde ρ = hustota benzenu (0,878 g/cm³), vychází po dosazení objem připraveného benzenu takto:

$$0,17 / 0,878 = 0,193 \text{ ml.}$$

Závěr:

Zahříváním směsi kyseliny benzoové a oxidu vápenatého jsme připravili benzen.

Z důvodu malého množství připraveného benzenu jsem se rozhodl experiment opakovat s jednou modifikací aparatury. Skleněnou trubicí jsem výrazně zkrátil, aby vznikající benzen, který částečně kondenzoval již ve skleněné trubicí, stékal do chlazené zkumavky dříve a nedocházelo tak k jeho ztrátám v aparatuře. Zmíněnou modifikaci aparatury uvádím na obr. 28.



Obr. 28 **Modifikovaná aparatura k přípravě benzenu**

1 – zkrácená skleněná trubice

Modifikovaná příprava benzenu probíhala naprosto stejným způsobem jako v prvním případě, jen s rozdílem využití kratší skleněné trubice (viz obr. 28). Pracovní postup byl totožný a výsledek experimentu byl pozitivní. Modifikací jsem docílil o něco vyššího výsledného objemu připraveného benzenu (viz obr. 29).



Obr. 29 Připravené množství benzenu po modifikaci aparatury

K ověření, zda jsem skutečně připravil organickou látku, jsem do zkumavky přidal několik kapek destilované vody. Po promíchání se ve zkumavce vytvořily 2 nemísitelné fáze (viz obr. 30), přičemž horní z nich je nepolární organická látka (připravený benzen), druhou látkou je voda.



Obr. 30 Vytvoření dvou nemísitelných fází (benzen – voda)

Výsledné množství benzenu však stále nebylo zcela ideální, pokud bychom chtěli využít tento experiment na střední škole jako demonstrační. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl opustit práci v semimikroměřítku a provést pro srovnání experiment v makroměřítku.

Ke třetímu provedení jsem použil 5 g kyseliny benzoové a 10 g oxidu vápenatého. Vzhledem k množství směsi kyseliny a oxidu jsem musel aparaturu opět modifikovat a vyměnit velkou zkumavku za kulatou baňku (viz obr. 31). Při očekávaném větším výtěžku jsem také použil větší zkumavku jako jímadlo benzenu.



Obr. 31 Příprava benzenu v makroměřítku

- 1 – Bunsenův kahan
- 2 – laboratorní stojan
- 3 – kovový držák
- 4 – kulatá baňka
- 5 – skleněná trubice
- 6 – velká zkumavka k jímání benzenu
- 7 – vysoká kádinka se studenou vodou

Na obr. 31 vidíme, že jsem opět využil delší skleněnou trubici. Důvod byl takový, že při použití kratší skleněné trubice jako ve druhém provedení experimentu (obr. 28), se

velká kádinka s vodou, která chladila zkumavku, příliš přiblížila ke kahanu a hrozilo její zahřívání.

I s tímto provedením aparatury jsem ale docílil pozitivního výsledku a připravil jsem větší množství benzenu, které by již mohlo být dostačující k demonstračnímu experimentu na střední škole. K ověření, zda se jedná o organickou látku, jsem opět použil destilovanou vodu. Po přidání malého množství vody se opět vytvořily dvě nemísitelné fáze. Horní organickou fází tvoří připravený benzen, spodní fází tvoří voda (obr. 32).



Obr. 32 Výsledné množství benzenu v makroměřítku

2.1.2.2. PRACOVNÍ LIST

Laboratorní práce č. 1

Jméno a příjmení:

Datum:

Téma: Příprava benzenu

Úkoly:

A. Vyhledej v učebnici, v sešitě, případně na internetu vlastnosti benzenu a kyseliny benzoové a rozhodni, zda budeš muset pracovat v digestoři. ANO NE

1. Uveď vlastnosti kyseliny benzoové a benzenu.

Kyselina benzoová:

.....

Benzen:

.....

B. Připrav benzen dekarboxylací kyseliny benzoové.

1. Vysvětli pojem dekarboxylace.

.....

.....

2. Uveď schéma chemické reakce při přípravě benzenu.

3. Uveď strukturní a sumární vzorce kyseliny benzoové a benzenu.

Strukturní vzorce		Sumární vzorce	
kyselina benzoová	benzen	kyselina benzoová	benzen

4. Pomůcky a chemikálie:

.....
.....
.....

5. Popiš v jednotlivých krocích postup práce.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Nakresli schéma aparatury.

7. Pozorování a výsledky:

.....
.....

8. Závěr:

.....
.....

2.2. OVĚŘENÍ EXPERIMENTU VE ŠKOLNÍCH PODMÍNKÁCH

Z provozních a časových důvodů bylo na Gymnáziu Františka Křížíka v Plzni provedeno ověření jednoho vybraného experimentu – sublimace naftalenu. Ověření tohoto experimentu proběhlo v kvartě nižšího gymnázia a zúčastnilo se ho celkem 24 žáků (z toho 14 chlapců a 10 dívek). Výuka proběhla v bloku dvou vyučovacích hodin.

Cíl aktivity:

- Žák na základě vlastního provedení experimentu odvodí princip sublimace naftalenu a samostatně vyhotoví pracovní list.

Žáci byli z důvodu kapacity laboratoře a pomůcek rozděleni na dvě skupiny, které se v laboratorní práci vystřídaly. Každá skupina žáků byla dále rozdělena do šesti menších pracovních skupin po dvou žácích a každá dvojice obdržela laboratorní návod v úpravě, která je pro žáky základní školy a nižšího stupně gymnázia co nejvíce podrobná a přehledná, zejména v části pracovního postupu (viz kap. 2.2.1.). Pracovní list jsem žákům rozdál před zahájením laboratorní práce, aby si mohli předem projít jednotlivé úkoly, které je čekají.

Vyučující chemie na Gymnáziu Františka Křížíka v Plzni navrhla úpravy pracovního listu (viz kap. 2.2.2.). Tyto úpravy odůvodnila tím, že žáky již velmi dobře zná a není si jistá, zda by všichni žáci správně porozuměli zadání některých úkolů. Podle jejího názoru by byl sestavený pracovní list, který uvádím v kap. 2.1.1.2., vhodnější spíše pro žáky střední školy. Ke zlepšení orientace v pracovním listu a jeho přehlednosti částečně upravila formát a celkový vzhled, a také navrhla další úkoly, kterými by bylo vhodné pracovní list doplnit. Během konzultace jsme se shodli, že bude nejvhodnější, když každý žák z první skupiny vypracuje mnou navržený pracovní list (viz kap. 2.1.1.2.) a každý žák z druhé skupiny vypracuje upravený pracovní list od vyučující (viz kap. 2.2.2.).

Během laboratorní výuky byly využity tyto výukové metody: výklad, vysvětlování, heuristická metoda, samostatná práce s pracovním listem, rozhovor.

Z výukových forem převažovaly: skupinová práce (při práci na experimentu) a frontální výuka.

Žáci během samostatné práce s pracovním listem mohli využívat učebnici, sešit s poznámkami a internet. Vzhledem k nastaveným pravidlům na této škole a zákazu nosit učebnice do laboratoře, žáci neměli možnost využít učebnici chemie a byli odkázáni pouze na své poznámky v sešitě a internet.

Ověření experimentu ve vybrané škole a výsledek laboratorní práce žáků můžeme vidět na obr. 33 a 34.



Obr. 33 Ověření experimentu ve školních podmínkách



Obr. 34 Přesublimovaný naftalen – výsledek laboratorní práce žáků

2.2.1. LABORATORNÍ NÁVOD

Téma: Sublimace naftalenu

Pomůcky: 2x hodinové sklo (průměr 12 cm – může být i menší), váha, lžička, třecí miska s tloučkem, nůžky, filtrační papír, laboratorní stojan, křížová svorka, kovový kruh, azbestová síťka, zápalky, Bunsenův kahan, stříčka

Chemikálie: naftalen C₁₀H₈, destilovaná voda

Pracovní postup:

1. Připravíme aparaturu k sublimaci naftalenu (využij pomůcky: laboratorní stojan, křížová svorka, kovový kruh, azbestová síťka, Bunsenův kahan).
2. Vystříhneme filtrační papír ve tvaru kruhu o průměru mírně větším, než je průměr hodinového skla. Vystřižený filtrační papír v jeho prostřední části opatrně několikrát perforujeme (proděravíme) propiskou nebo jiným ostrým předmětem.
3. Navážíme 0,5 g naftalenu a v třecí misce jej rozetřeme. Poté rozetřený naftalen umístíme na hodinové sklo.
4. Hodinové sklo s naftalenum zakryjeme jemně prodírkovaným filtračním papírem tak, aby papír mírně přesahoval přes okraje hodinového skla.
5. Pevně přiklopíme druhým (stejně velkým) hodinovým sklem tak, aby se vnější okraje hodinových skel proti sobě přesně překrývaly a pevně dotýkaly filtračního papíru. Následně takto připravená hodinová skla umístíme na azbestovou síťku v předem zhotovené zahřívací aparatuře.
6. Horní hodinové sklo chladíme vlhkým filtračním papírem a začneme mírně zahřívat. Během zahřívání můžeme v případě potřeby opatrně zvlhčovat chladicí filtrační papír destilovanou vodou pomocí stříčky.
7. Přesublimovaný naftalen zvážíme.

2.2.2. UPRAVENÝ PRACOVNÍ LIST

Laboratorní práce č. 1 – Pracovní list

Jméno a příjmení (název skupiny):

Datum:

Téma: Sublimace naftalenu

Úkol: Proved' sublimaci naftalenu mezi dvěma hodinovými skly.

Vyhledej v učebnici, v sešitě, případně na internetu.

1. Rozhodni, zda budeš muset pracovat v digestoři. ANO NE

2. Uved' vlastnosti naftalenu:

.....
.....
.....

3. Jaká je hodnota teploty tání naftalenu? Odpověď.....°C

4. Uved' strukturní a sumární vzorec naftalenu.

Strukturní vzorec

Sumární vzorec

5. Napiš využití naftalenu, co tě zaujalo?

.....
.....
.....

6. Pomůcky a chemikálie:

.....
.....
.....

7. Popiš v jednotlivých krocích postup práce.

.....
.....

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

8. Nakresli schéma aparatury.

9. Pozorování a výsledky:

Na základě již získaných znalostí a průběhu experimentu doplň správná slova do níže uvedeného textu.

Sublimace je výborná separační metoda klátek. Mírným zahříváním naftalenu za normálního tlaku dochází k sublimaci, tedy změně skupenství na Páry naftalenu na horním hodinovém skle vytváří látku.

Hmotnost přesublimovaného naftalenu:

10. Závěr:

.....
.....
.....

Něco navíc:

Vzpomeneš si na další látku, kterou lze sublimací oddělit?

(Nápověda: Jedná se o tmavě fialový prvek.)

Uveď značku tohoto prvku:

Porovnej naftalen s tímto prvkem, čím se od sebe liší?

2.3. VYHODNOCENÍ

Žáci kvarty na Gymnáziu Františka Křížíka v Plzni v laboratoři chemie provedli experiment sublimace naftalenu za využití metod semimikrotechniky a následně v rámci samostatné práce vyplnili pracovní listy (viz kap. 2.1.1.2. a 2.2.2.).

Výuka proběhla v příjemném a klidném prostředí odborné učebny chemie. Každý žák se po příchodu posadil na své pracovní místo. Bylo evidentní, že vztah mezi učitelkou a žáky je velmi pozitivní, čemuž odpovídalo i celkové klima ve třídě. Žáci byli aktivní, což podle vyučující není nijak ojedinělé.

Experiment je možné využít jako motivační i jako demonstrační a je vhodný pro žáky základní školy i nižšího gymnázia. Nevylučuji ani jeho možné využití na střední škole.

Výhody experimentu:

- Nenáročnost na chemikálie i vybavení (vyjma nutné digestoře),
- názornost,
- vysoká úspěšnost provedení experimentu,
- „wau efekt“ na konci experimentu,
- možnost sledování celého průběhu sublimace (odpařování a následná kondenzace pevné látky).

Nevýhody experimentu:

- Nebezpečnost naftalenu (je nutné žáky upozornit na možná rizika).

Žáci pracovali ve dvojicích a s vyučující jsme kontrolovali průběh jejich práce. Bylo nutné žáky občas usměrnit a korigovat jejich činnost v laboratoři. Někteří žáci měli potíže se zhotovením aparatury k zahřívání naftalenu a ve dvou případech došlo také k tomu, že žáci přiklopili horní hodinové sklo na spodní hodinové sklo s filtračním papírem obráceně. Žáci se v několika případech zeptali na to, z jaké vzdálenosti je potřeba zahřívát hodinová skla a kolik otvorů mají vytvořit do filtračního papíru, a jak mají být od sebe otvory vzdáleny. Těmto problémům a dotazům bych v budoucnu rád předešel tím, že bych do pracovního postupu v laboratorním návodu přiložil obrázek aparatury a doplnil bych informaci o konkrétním počtu otvorů, které je potřeba vytvořit do filtračního papíru (např. 6-10 otvorů). Pracovní postup bych také doplnil obrázkem připravených hodinových skel k zahřívání, aby žáci měli lepší představu o tom, co přesně

mají za úkol sestavit. Jako příklady obrázků, které by bylo možné doplnit do laboratorního návodu, mohu uvést obr. 20 a 22.

U všech dvojic žáků byl výsledek experimentu pozitivní a po vzniku pevného naftalenu (v několika případech vzniku malých krystalů naftalenu) na horním hodinovém skle u žáků vyvolal žádoucí „wau efekt“.

Každý žák samostatně vypracoval pracovní list. Žáci z první pracovní skupiny vypracovali pracovní list uvedený v kap. 2.1.1.2. Žáci z druhé pracovní skupiny vypracovali upravený pracovní list uvedený v kap. 2.2.2. V každé skupině bylo 12 žáků.

Z mého pohledu byly úpravy pracovního listu, které navrhla vyučující, vhodné zejména k přenesení poznatků o daném učivu do reálného života (např. využití naftalenu), a také k propojení souvislostí s dříve probranou látkou. Úkol v upraveném pracovním listu „*Něco navíc*“ (kap. 2.2.2.) je výborným řešením, jak rozvíjet znalosti a schopnosti nadaných žáků, kteří již mají všechny předchozí úkoly splněné a do značné míry tak předejdeme situaci, že by tito žáci byli ve zbytku laboratorní výuky bez práce.

Odpovědi žáků na jednotlivé úkoly byly v obou pracovních listech různé. Rád bych zde uvedl alespoň několik příkladů, které jsou zásadní pro naplnění cílů vyučovací hodiny a kvalitní rozvíjení klíčových kompetencí žáků.

V úvodním úkolu, kdy měli žáci rozhodnout, zda je nutné pracovat v digestoři, byly uváděny obě odpovědi, tedy „ANO“ i „NE“. V některých případech žáci k možnostem dokonce dopsali, že záleží na množství naftalenu, se kterým pracujeme.

Problémem byl zejména úkol, ve kterém měli žáci uvést strukturní vzorec naftalenu. V osmi případech se stalo, že žáci místo strukturního vzorce naftalenu uvedli strukturní vzorec benzenu. V deseti případech žáci vzorec neuvedli vůbec. Myslím, že tento problém vznikl především tím, že žáci nesmí mít s sebou v laboratoři učebnici chemie, a také slepě důvěřují první informaci na internetu, kterou vyhledají, aniž by ji důkladně ověřili.

Neshody jsem zaznamenal u úkolu, ve kterém žáci doplňovali správná slova do textu na základě již získaných znalostí a průběhu experimentu. Správným řešením byla slova (v pořadí jednotlivých vět): *čištění, pevného, plynné, pevnou*. Někteří žáci text vyplnili správně, nebo by jejich odpovědi byly uznány, i když nebyly v korektním tvaru (např. „z pevné látky“ na „plynou látku“, nebo místo „pevnou“ uvedli v poslední větě „krystalickou“, což je ale také do jisté míry správně). I přes moji snahu, aby byl text co nejsrozumitelnější, žáci do vět často dopisovali slova, která nebyla z pohledu českého jazyka zcela korektní, ale z kontextu je jasné, že žáci věděli, jaká je správná odpověď.

Mnoho žáků se však neshodovalo v první větě „*Sublimace je výborná separační metoda k čištění látek*“. Místo slova „*čištění*“ žáci psali odpovědi: „*oddělení*“, „*rozdělení*“, „*izolaci*“, „*změně skupenství*“, „*výběru*“.

Odpovědi na zbylé úkoly (vlastnosti naftalenu, pomůcky a chemikálie, hodnota teploty tání naftalenu, nakreslit schéma aparatury, pozorování a výsledky, závěr) se již ve většině shodovaly v obou pracovních listech. Žáci byli schopni sepsat své odpovědi v úkolech „*pozorování a výsledky*“ a „*závěr*“, ale odpovědi odpovídaly věku a omezeným chemickým zkušenostem žáků, především pak jejich snížené schopnosti korektního popisu pozorování a sepsání závěru experimentu.

Následná kontrola pracovních listů odhalila, že je nutné, aby vyučující v následující vyučovací hodině chemie provedla se žáky společnou kontrolu zadaných úkolů, výsledků pozorování a závěru v pracovním listu. Společnou kontrolou by vyučující docílila celkového shrnutí experimentu a zejména by došlo ke korekci a sjednocení odpovědí v jednotlivých úkolech.

Cíl aktivity byl u většiny žáků naplněn a klíčové kompetence žáků byly úspěšně rozvíjeny. Shrnutím experimentu a sjednocením odpovědí na zadané úkoly během společné kontroly by z mého pohledu došlo k naplnění cíle u všech žáků.

3. ZÁVĚR

V uvedené literatuře jsem se seznámil s principy semimikrotechniky a jejími přednostmi. Na základě těchto principů jsem navrhl a v laboratoři katedry chemie ověřil některé experimenty. Z těchto experimentů jsem vytypoval konkrétní experiment (sublimace naftalenu) k ověření ve školních podmínkách.

Po konzultaci s vyučující na Gymnáziu Františka Křížíka v Plzni jsem se dostal do kontaktu s vybranou třídou (kvartou nižšího gymnázia), která byla rozdělena na dvě skupiny o stejném počtu žáků (12). Žáci v rámci dané skupiny pracovali v šesti dvojicích. Každá dvojice žáků během laboratorní výuky pracovala podle připraveného laboratorního návodu (viz kap. 2.2.1.) a na základě vlastního provedení experimentu plnil každý žák zadané úkoly v pracovním listu. Jedna skupina žáků (12) vypracovala pracovní list (viz kap. 2.1.1.2.). Druhá skupina žáků (12) vypracovala upravený pracovní list (viz kap. 2.2.2.).

Ověření vybraného experimentu ve školních podmínkách se zdařilo. Všichni žáci dokázali splnit hlavní úkol, tedy přesublimovat naftalen mezi dvěma hodinovými skly. Odpovědi žáků v pracovních listech na jednotlivé úkoly byly různé, v některých případech až neuspokojivé (viz kap. 2.3.). Na základě kontroly pracovních listů doporučuji, aby vyučující v následující vyučovací hodině chemie provedla se žáky společnou kontrolu pracovního listu, aby došlo k opravě a sjednocení odpovědí a k celkovému shrnutí experimentu.

V této diplomové práci uvádím i možnost využití VR v laboratorní výuce chemie. V kap. 1.10. zmiňuji převzatý experiment (dehydratace cukru), k jehož provedení je potřeba kyselina sírová, se kterou žáci nesmí v laboratoři chemie běžně pracovat. Žáci si tak mohou pomocí VR vyzkoušet i práci s látkami, které jsou velmi nebezpečné nebo jinak zdraví škodlivé.

RESUMÉ

V diplomové práci jsou uvedeny některé metody semimikrotechniky. Zaměřuji se na jejich možné využití v laboratorní výuce organické chemie na základních školách a v laboratorních cvičeních z organické chemie na středních školách. Navrhuji experimenty vhodné k práci v semimikroměřítku a ověřuji je v laboratoři katedry chemie. Vybraný experiment ověřuji ve školních podmínkách.

KLÍČOVÁ SLOVA

Semimikrotechnika, laboratorní výuka, laboratorní cvičení z organické chemie, základní škola, střední škola.

RESUMÉ

Some methods of semi-microtechnique are presented in the thesis. I focus on their possible use in the laboratory teaching of organic chemistry in elementary schools and in laboratory exercises in organic chemistry in high schools. I suggest experiments suitable for work at the semi-microscale and verify them in the laboratory of the department of chemistry. I verify the selected experiment in school conditions.

KEYWORDS

Semi-microtechnique, laboratory teaching, laboratory exercises in organic chemistry, elementary school, high school.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Richtr V., Konopa M.: Experiment v přípravě budoucích učitelů chemie. *Biologie – Chemie – Zeměpis*. 31, s. 15-23 (2022).
2. Kokoška M.: Modifikace pracovních postupů v laboratorních cvičeních z organické chemie. *Bakalářská práce*. Plzeň 2021.
3. Volín M., Metelková J.: Organické semimikropreparace ve vyučování chemii. In: *Sborník Pedagogické fakulty v Plzni (Biologie – Chemie V.)*. FPE ZČU v Plzni. 1967, 67–109, s. 85–98.
4. Richtr V.: *Semimikrotechnika v organické chemii*. ZČU, Plzeň 1993.
5. Richtr V.: *Práce s malými kvanty ve vysokoškolské výuce organické chemie*. Habilitační práce. ZČU v Plzni, katedra chemie FPE 2002.
6. Mayo D. W., Pike R. M., Trumper P. K.: *Microscale Techniques for the Organic Laboratory*. John Wiley & Sons, New York 2001, ISBN 0-471-24909-2.
7. Mohring J. R., Hammond Ch. N., Schatz P. F., Morrill T. C.: *Modern Project and Experiments in Organic Chemistry*. W. H. Freeman and Company, New York 2003.
8. Pacák J.: *Jak porozumět organické chemii*. Karolinum, Praha 2007.
9. Klinotová E., Klinot J., Máca B., Trnka T., Všetečka V.: *Základní cvičení z organické chemie*. Univerzita Karlova, Praha 1980.
10. Horák V.: *Práce s malými kvanty v organické laboratoři*. SNTL, Praha 1964.
11. Keil B. a kol.: *Laboratorní technika organické chemie*. ČSAV, Praha 1954.
12. RVP pro základní vzdělávání. Dostupné z: <https://archiv-nuv.npi.cz/t/rvp-pro-zakladni-vzdelavani.html> (staženo 15.12.2022).
13. RVP pro gymnázia. Dostupné z: <https://archiv-nuv.npi.cz/t/rvp-pro-gymnazia.html> (staženo 15.12.2022).
14. ŠVP pro nižší gymnázium. Dostupné z: https://www.krizik.eu/images/dokumenty/gymnazium/SVP_ni%C5%BE%C5%A1%C3%AD_od_1.9.2022_-_FINAL.pdf (staženo 13.1.2023).
15. ŠVP pro vyšší gymnázium. Dostupné z: https://www.krizik.eu/images/dokumenty/gymnazium/SVP_vy%C5%A1%C5%A1%C3%AD%20od%20z%C3%A1%C5%99%C3%AD%202015_v%203.0%20-%202017.1.2020-B.pdf (staženo 13.1.2023).
16. Honza J., Mareček A.: *Chemie pro čtyřletá gymnázia*. Proton, Brno 2014. ISBN 978-80-902402-5-4.

17. Hrstka M.: Laboratorní cvičení z chemie pro 2. ročník gymnázia. MC nakladatelství, Brno 1998.
18. Hrstka M.: Laboratorní cvičení z chemie pro 3. ročník gymnázia. MC nakladatelství, Brno 1998.
19. Pachmann E. a kol.: Chemicko-biologická praktika pro 7. ročník ZŠ. SPN, Praha 1982. 14-429-82.
20. Beneš P. a kol.: Chemicko-biologická praktika pro 8. ročník ZŠ. SPN, Praha 1983. 14-240-85.
21. Plucková I. a kol.: Chemie 9 – Úvod do obecné a organické chemie, biochemie a dalších chemických oborů. NOVÁ ŠKOLA, s.r.o., Brno 2021.
22. Karger I. a kol.: Chemie II pro 9. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. PRODOS, Olomouc 1999.
23. Budínská G. a kol.: Hravá chemie. Učebnice pro 9. ročník ZŠ a víceletá gymnázia. TAKTIK, Praha 2019.
24. Mokrejšová O.: Praktická a laboratorní výuka chemie. Praha. TRITON s.r.o. 2005.
25. Požárová J.: Školní pokusy z organické a bioorganické chemie. Diplomová práce, depon. in Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Brno 2007. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/y2490/Kartoteka_chemickyh_pokusu.pdf (staženo 17.2.2023).
26. Koutenková L.: Využití semimikrotechniky ve cvičení z organické chemie. Diplomová práce. Plzeň 1993.
27. Spurná M., Švehlík Z.: Praktické cvičení z didaktiky chemie. Rektorát Univerzity Palackého, Olomouc 1976.
28. VR Training. VR School. Vaše škola ve virtuální realitě. Dostupné z: <https://www.vrtraining.services/cs/vr-school/> (staženo 11.4.2023).
29. VR Training. VR School. Dostupné z: <https://app.vrschool.cz/login> (staženo 11.4.2023).
30. Naphthalene. PubChem. National Institutes of Health. National Library of Medicine. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/931> (staženo 11.3.2023).
31. Benzene. PubChem. National Institutes of Health. National Library of Medicine. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/241> (staženo 13.3.2023).

32. Benzoic Acid. PubChem. National Institutes of Health. National Library of Medicine. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/243> (staženo 13.3.2023).

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Filtrace s využitím Willstätterovy jehly	7
Obr. 2 Laboratorní topné hnízdo suché (LTHS)	9
Obr. 3 Elektricky vyhříváný kovový blok s topným tělískem z elektrické páječky – 300 W	9
Obr. 4 Elektricky vyhřívána vodní lázeň	10
Obr. 5 Vzdušná lázeň	11
Obr. 6 Skleněný balónek s nálevkovitým rozšířením	15
Obr. 7 Inverzní filtrace s odsáváním.....	15
Obr. 8 Inverzní filtrace bez odsávání.....	16
Obr. 9 Použití balónku k inverzní filtraci bez odsávání.....	16
Obr. 10 Límcovka	17
Obr. 11 Aparatura k destilaci malých objemů kapalin.....	17
Obr. 12 Aparatura pro destilaci s vodní párou.....	18
Obr. 13 Přístroj k destilaci s vodní párou podle Pozziho a Escota	19
Obr. 14 Zařízení k vytřepávání – Gorbachův „čapí zobák“	19
Obr. 15 Soxhletův extraktor	20
Obr. 16 Aparatura pro extrakci	21
Obr. 17 Přístroj k sublimaci za sníženého tlaku	22
Obr. 18 Vakuové sušení.....	23
Obr. 19 Improvizovaný exsikátor	23
Obr. 20 Součásti aparatury k sublimaci naftalenu.....	47
Obr. 21 Rozetřený naftalen na prvním (spodním) hodinovém skle.....	48
Obr. 22 Přiklopení perforovaného filtračního papíru druhým (horním) hodinovým sklem	48
Obr. 23 Chlazení horního hodinového skla vlhkým filtračním papírem	49
Obr. 24 Přesublimovaný naftalen	50
Obr. 25 Modifikovaná aparatura k přípravě benzenu.....	53
Obr. 26 Příprava benzenu.....	55
Obr. 27 Výsledné množství benzenu	56
Obr. 28 Modifikovaná aparatura k přípravě benzenu.....	57
Obr. 29 Připravené množství benzenu po modifikaci aparatury	58
Obr. 30 Vytvoření dvou nemísitelných fází (benzen – voda).....	58

Obr. 31 Příprava benzenu v makroměřítku.....	59
Obr. 32 Výsledné množství benzenu v makroměřítku	60
Obr. 33 Ověření experimentu ve školních podmínkách.....	64
Obr. 34 Přesublimovaný naftalen – výsledek laboratorní práce žáků	64

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Konstanty chladicích směsí s ledem	12
Tab. 2 Konstanty chladicích směsí solí s vodou	13
Tab. 3 Konstanty chladicích směsí solí a minerálních kyselin	13

SEZNAM ZKRATEK

apod.	a podobně
atd.	a tak dále
BYOD	bring your own device (přines si své vlastní zařízení)
°C	Celsiův stupeň
FPE	Fakulta pedagogická
IT	informační technologie
LTHS	laboratorní topné hnízdo suché
m	hmotnost [g]
mj.	mimo jiné
např.	například
ρ	hustota [g/cm ³]
RVP	rámcový vzdělávací program
RVP G	rámcový vzdělávací program pro gymnázia
RVP ZV	rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání
SŠ	střední škola
ŠVP	školní vzdělávací program
tj.	to jest
tzv.	takzvaný
V	objem [ml]
VR	virtuální realita
VŠ	vysoká škola
ZČU	Západočeská univerzita
ZŠ	základní škola