

OPEN ACCESS



# EXPERIMENT V PŘÍPRAVĚ BUDOUCÍCH UČITELŮ CHEMIE

Experiment Concerning  
Training of Future Chemistry  
Teachers

VÁCLAV RICHTR, [richtr@kch.zcu.cz](mailto:richtr@kch.zcu.cz), MATYÁŠ KONOPA, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická, Katedra chemie

## Abstract

*This paper deals with an experiment during the bachelor's study at the Department of Chemistry, FPE UWB in Pilsen and its importance for the training of future chemistry teachers.*

*The focus of the work is in the organization and content of laboratory exercises in organic chemistry. This ranges from the classic concept of laboratory exercises to procedures appropriate to current legislation and pursuing economic and environmental considerations. The exercises are spread over six working days and include work with smaller quantities of substances in addition to macro scale work.*

*Particular attention is paid to the preparation of ethyl acetate using the classical method, including analysis of the individual steps of the procedure. A modified esterification procedure suitable for use in secondary education is also mentioned.*

*In addition to work based on synthesis, the isolation of natural substances is also applied. Much attention is paid to the work on the staining and chromatographic methods.*

*The importance of quoted sources for a deeper understanding of the incremental problems of certain procedures is highlighted.*

## Klíčová slova

*Experimentální činnost, laboratorní cvičení, tenkovrstvá chromatografie*

## Keywords

*experimental activity, laboratory exercises, thin-layer chromatography*

## ÚVOD

Současná doba je pro výuku chemie poměrně složitá. Přestože je chemie jako přírodovědní disciplína historicky spjata s experimentem, zkušenosti z posledních let nejsou zcela povzbudivé. Záleží mnoho na odhodlání, rozhodnosti a odvaze učitele, aby tento předmět jako experimentální vyučoval i nadále. Na základě dlouhodobého sledování studentů přicházejících ze středních škol je patrné, že jejich vztah k experimentu je různý a získávají ho již na střední a mnohdy i základní škole. Z neformálních kontaktů s našimi absolventy, současnými učiteli chemie, je zřejmé, že na jednotlivých školách má vyučující chemie různé pochopení u vedení školy. K tomu, aby učitel zcela nepodlehł modernizačním trendům výuky a byl schopen udržovat rovnováhu mezi těmito trendy a reálným experi-

mentem, je nutné, aby disponoval potřebnými znalostmi a zkušenostmi.

Ze setkání učitelů katedry chemie s absolventy katedry působícími na základních i středních školách rovněž vyplývá neobyčejný význam toho, že je kladen důraz na experimentální činnost studentů, budoucích učitelů, již v průběhu vysokoškolského studia. Z těchto rozhovorů je zřejmé, že učitelé, kteří našli cestu k experimentu již jako studenti, v podmínkách dnešní školy přistupují k reálnému experimentu velmi racionálně.

Studenti, budoucí učitelé chemie, si svůj vztah k chemickému experimentu formují již v průběhu laboratorních cvičení, postupně řazených do rozvr-

hu. Tato cvičení jsou jednotlivými vyučujícími dle potřeby aktualizována na základě jejich zkušeností s dosavadním průběhem výuky a studia dostupných materiálů publikovaných v odborné literatuře. S maximální péčí jsou sledovány všechny didaktické cíle (Pachmann, Hofmann, 1981; Prokša et al., 2015).

Propracovaný systém experimentální přípravy studentů bakalářského studia na katedře chemie FPE ZČU v Plzni je efektivní a umožňuje nejen bezproblémové zvládnání experimentální složky navazujícího studia, ale i úspěšný vstup do praxe.

## LABORATORNÍ ČINNOST V PRŮBĚHU STUDIA

První zkušenosti s laboratorní činností studenti získávají již ve druhém semestru bakalářského studia v předmětu Chemické laboratorní metody, kde si osvojí základní dovednosti v laboratorní technice a seznámí se se základními metodami a postupy práce v chemické laboratoři.

Následuje laboratorní cvičení z anorganické chemie. Jedná se o první setkání studentů s experimentálním provedením teoreticky nabytých poznatků. Studenti zde získávají základní návyky práce v preparativní chemii.

Přestože i v dalších semestrech bakalářského studia probíhají laboratorní cvičení k jednotlivým teoreticky vyučovaným předmětům s cílem přibližovat výuku současným trendům základní a střední školy, největší přeměnou prošla laboratorní cvičení z organické chemie, která následují hned ve čtvrtém semestru. Zde se studenti setkávají s celým komplexem laboratorních technik, umožňujících práci s různými kvanty látek, tedy i přechod k semimikrotechnice, která vede jak ke zvýšení bezpečnosti

práce, tak ke snížení časové i materiální náročnosti prováděných experimentů (Mayo, Pike, Trumper, 2001; Mohring et al., 2002; Richtr, Kraitr, Štrofová, 2010).

## LABORATORNÍ CVIČENÍ Z ORGANICKÉ CHEMIE

Studenti mají teoretické základy k chemismu prováděných prací a mají k dispozici pracovní návody (Klinotová et al., 1980; Trnka et al., 1989). Některé návody jsou v důsledku zkušeností z minulých let užívány v upravené podobě se zdůvodněním provedené úpravy. To se pro studenty stává dobrým základem pro osvojení principů modifikace experimentů a racionalizace práce (Richtr, Novák, 2019), což je velmi významné pro jejich budoucí působení na školách, kde budou nuceni aktualizovat svoji činnost tak, aby v reálných legislativních a ekonomických podmínkách byli schopni plnit experimentální složku RVP základních a středních škol (Zdroj 1, 2).

V předstihu před zahájením cvičení jsou studenti seznámeni s pracovní náplní a vyzváni k tomu, aby si obstarali základní literaturu (Klinotová et al., 1980; Trnka et al., 1989) a literaturu doplňkovou (Richtr, Kraitr, 2004; Richtr, Kraitr, 2006; Richtr, Kraitr, Štrofová, 2010; Richtr et al., 2015), potřebnou k prostudování zadaných úloh ještě před jejich praktickou realizací. Výběr úloh řešených v rámci cvičení se z praktických důvodů během let zúžil na několik, které provádějí všichni studenti a zahrnují maximum laboratorních technik s možností přechodu k práci s malými kvanty látek a využití identifikačních technik. Další práce, uvedené a zdůvodněné dále (viz 5. a 6. pracovní den), jsou přiděleny vybraným studentům.

Práce jsou voleny tak, aby byly realizovatelné během šesti pracovních dnů, což umožňuje nejen

bezproblémové plnění v průběhu semestru, kdy je v rámci rozvrhu laboratorním cvičením věnován jeden den v týdnu, ale s výhodou se dají využít i v blokové výuce. Ukazuje se, že bloková výuka, vynucená nákazovou situací, je výhodnější proto, že probíhá na vymezeném prostoru bez nutnosti jeho uvolňování pro jiné účely. Pro splnění všech předem stanovených úkolů je program cvičení do jednotlivých dnů členěn takto:

1. den: Seznámení s vybavením laboratoře, bezpečností práce, programem celého cvičení včetně přidělení individuálních izolací přírodních sloučenin, zpracování skla pro práci v semimikroměřítku, nalévání chromatografických desek analytických i preparativních. V tomto cvičení je všem studentům také demonstrován ozonizátor, který je využíván později příležitostně (Richtr et al., 2015). Studenti jsou též seznámeni s vývojem tohoto zařízení a odkazem na další materiály týkající se přípravy a využití ozonu ve školních podmínkách (Richtr, Kraitr, 2006).

2. den: Příprava ethyl-acetátu: Tato práce je zahájena hned v začátku cvičení, protože s esterifikační reakcí studenti byli seznámeni již na střední škole a při studiu na katedře chemie se teorií této reakce zabývali detailně. Dalším důvodem je to, že se zde setkají s řadou operací, které dosud nepoznali a budou jim prospěšné i v dalších etapách laboratorního cvičení. Problematika této přípravy si zaslouží zvýšenou pozornost, a proto bude rozvedena podrobně v samostatném bodě.

3. den: Příprava kyseliny adipové a benzoové. Tyto dvě práce umožňují srovnání některých operací prováděných v makroměřítku a semimikroměřítku. Protože oba produkty jsou krystalické látky, je na místě studenty seznámit (pokud se tak nestalo již při zahájení cvičení) s funkcí bodotávku, který je využíván pro stanovení teploty tání všech pevných

produktů získaných v rámci cvičení a zahřívání betulinu získaného extrakcí březové kůry (Klinotová et al., 1980; Trnka et al., 1989) s hydrogensíranem draselným na různé teploty pro následující rozbor reakčního produktu (Richtr, Šnaiberková, Štrofová, 2015) tenkovrstvou chromatografií (Richtr, Kraitr, 2004).

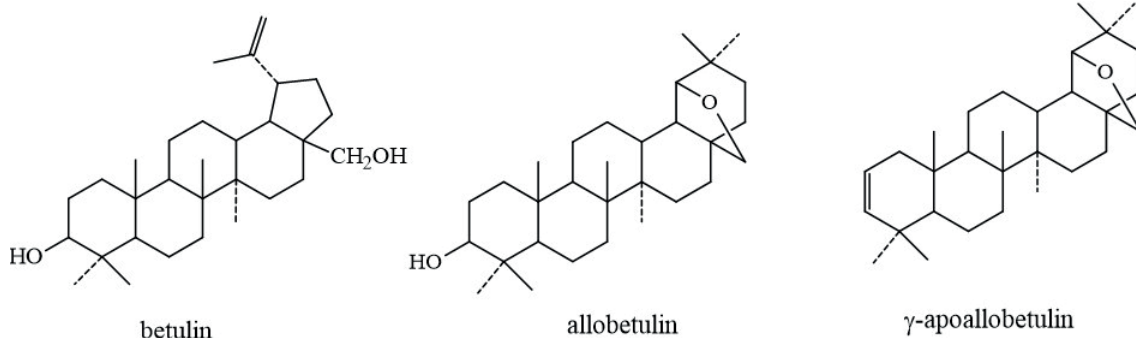
4. den: Nitrace benzenu a nitrace fenolu: Cvičení je zahájeno nitrací benzenu, která proběhne týž den až do konečné izolace nitrobenzenu. Naopak nitrace fenolu je zahájena až v závěru cvičení s tím, že se surový produkt ponechá do příštího cvičení (reakční směs se lépe dělí), věnovaného izolaci *o*- a *p*- nitrofenolu destilací s vodní párou a dokončování izolace a identifikace produktů předchozích cvičení. Aktuálně lze zahajovat některé, již dříve přidělené, izolace přírodních sloučenin.

5. a 6. den je věnován speciálním technikám spojeným s izolací betulinu, kapsaicinu, kofeinu a piperinu. Jedná se o cíleně zadávané práce jednotlivým studentům tak, aby v dané studentské skupině byla každá z uvedených prací zadána alespoň jedenkrát. Studenti, kteří tuto práci přímo neprovádí, mohou alespoň sledovat některé méně běžné operace. Jedná se o různé modifikace extrakcí, destilací, krystalizací a filtrací při přechodu z makrotechniky na semimikrotechniku. Zvláště významné je zpracování extraktu papriky a březové kůry pro porovnání TLC směsi barevných látek (extrakt papriky) a látek bezbarvých (extrakt březové kůry). Detailní postup těchto chromatografií je dostupný (Richtr, Kraitr, 2004). Zde je kromě chromatografie popsán způsob přípravy chromatografických materiálů (nalévání desek pro analytickou i preparativní TLC).

V závěru cvičení, kdy všichni studenti plně ovládají práci s bodotávkem i provádění základních operací tenkovrstvé chromatografie (TLC) a od začátku cvičení jsou seznámeni s problematikou tave-

ní betulinu s  $\text{KHSO}_4$  (Richtr, Šnaiberková, Štrofová, 2015), provedou v individuálně zadaném režimu tavení betulinu s  $\text{KHSO}_4$  (1:2) a chromatografický rozbor vzniklé taveniny v porovnání s TLC výcho-

zího betulinu, izomerací vzniklého allobetulinu a  $\gamma$ -apallobetulinu vzniklého dehydratací allobetulinu (viz obr. 1). Výsledky svého pozorování uvedou formou laboratorního protokolu.



Obr. 1. Sloučeniny pozorovatelné po reakci betulinu s  $\text{KHSO}_4$  řazené podle vzrůstajícího  $R_f$  na TLC (betulin, allobetulin,  $\gamma$ -apallobetulin).

## PŘÍPRAVA ETHYL-ACETÁTU

Jedná se o reakci esterifikační, která je publikována již historicky. Současná literatura (McMurry, 2015) esterifikační reakci uvádí včetně jejího mechanismu jako kyselou katalyzovanou nukleofilní acylovou substitucí hydroxylové skupiny v kar-

boxylové kyselině (Fischerova esterifikace). Studentům je známa jako rovnovážná reakce znázorněná tímto schématem:



karboxylová kyselina

alkohol

ester

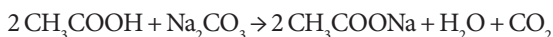
voda

V našem případě se jedná o reakci kyseliny octové s ethanolem za přítomnosti koncentrované kyseliny sírové. Ze schématu reakce vyplývá, že pro její zdárný průběh (vysoký výtěžek esteru) musí být

zachována hodnota rovnovážné konstanty  $K$  vyjádřené pomocí rovnovážných koncentrací výchozích složek a produktů.

$$K = \frac{[\text{R-COOR}'] [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{R-COOH}] [\text{R'-OH}]}$$

V námi uvedeném postupu esterifikace je využito toho, že z reakční aparatury sestavené z frakční baňky (250 ml) opatřené přikapávací nálevkou (100 ml) a teploměrem (250 °C) odchází do chladiče páry reakčních produktů o nižší teplotě varu, než mají do reakce vstupující složky. Do frakční baňky vyhřívané topným hnízdem LTHS 250 je před zahájením reakce vložen varný kamínek (kousek porcelánu) a vлита směs 10 ml ethanolu s 10 ml 96% kyseliny sírové. Při dosažení teploty měřené na dně frakční baňky 130 °C je z přikapávací nálevky do frakční baňky vpuštěno najednou několik ml směsi ethanolu (50 ml) a kyseliny octové (50 ml) a rychlost dalšího přikapávání směsi je seřizena tak, aby byla shodná s rychlostí odkapávání destilátu do jímadla. Pro zvýšení účinnosti esterifikace je nutné aparaturu sestavit tak, aby vyústění přikapávací nálevky bylo co nejhluběji pod odvodem par do chladiče. Po ukončení reakce je destilát převeden do 1000 ml dělicí nálevky a zředěn vodou. Po oddělení spodní (vodné) vrstvy je k horní vrstvě esteru po částech přidáván předem připravený téměř nasycený roztok uhličitanu sodného za účelem neutralizace do destilátu přešlé nezreagované kyseliny octové. Neutralizace probíhá podle rovnice



Pro výpočet množství potřebného uhličitanu sodného vycházíme z předpokladu, že do destilátu přešlo až 50 % (25 ml) použité kyseliny octové. Při využití sody ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) je nutno výpočet upravit.

Protože se při neutralizaci uvolňuje oxid uhličitý, musíme postupovat opatrně. Z počátku je třeba do odzátkované dělicí nálevky při uzavřeném kohoutu připravený roztok uhličitanu dávkovat po částech za míchání krouživým pohybem nálevkou. Teprve po zmírnění vývoje oxidu uhličitého lze po přidání dalšího podílu uhličitanu dělicí nálevku zazátkovat, obrátit kohoutem vzhůru a kohout otevřít, aby vznikající oxid uhličitý mohl z nálevky unikat. Před dalším přidáním roztoku uhličitanu kohout uzavřeme, dělicí nálevku otočíme a odzátkujeme. Při následném dávkování celý proces opakujeme. Protože uvolňující se oxid uhličitý indikuje konec neutralizace, musíme dbát na to, aby část připraveného roztoku uhličitanu zůstala nespotřebovaná.

Následuje pečlivé oddělení vodné (spodní) fáze tak, aby do vrtání kohoutu již vniknul ethyl-acetát a horní vrstva esteru nebyla znečištěna zbytky vodné fáze, která obsahuje nezreagovaný  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Následuje dokonalé promytí ethyl-acetátu 25 ml 10% vodného roztoku  $\text{CaCl}_2$  za účelem odstranění zbytků nezreagovaného ethanolu, který přechází do spodní vodní vrstvy. V případě nedokonalého odstranění zbytků  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  by práci komplikoval vznik nerozpustného uhličitanu vápenatého.

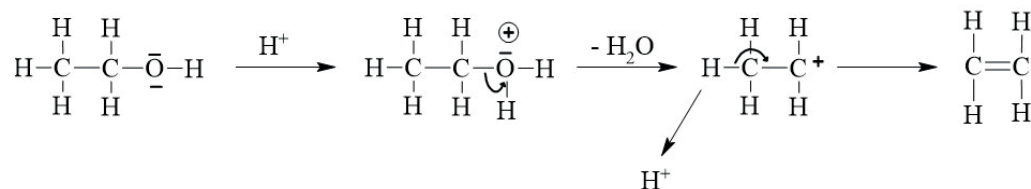
Při následném odstraňování vody bezvodým  $\text{CaCl}_2$  se může stát, že po přidání malé lžičky chloridu vápenatého dojde k jeho rozpouštění a tvorbě odděleného roztoku. V tom případě musí být předsušený ethyl-acetát slit do suché baňky a dosušen přidáním dalšího podílu  $\text{CaCl}_2$ . Dосуšení poznáme podle toho, že se přidáním pevného  $\text{CaCl}_2$  již vodná vrstva netvoří. Závěrečnou destilaci provedeme v suché aparatuře, nejlépe zábrusové, přiměřené velikosti (objem baňky 25–50 ml) s použitím topného hnízda LTHS 50.

## POZNÁMKY K PROVEDENÍ ESTERIFIKACE

Negativní vliv na výtěžek reakce má přítomnost vody před jejím zahájením (rovnovážné reakce – viz výše). Je třeba dbát na to, aby použitá aparatura byla opravdu suchá. Příčinou neúspěchu může být i vyšší obsah vody ve výchozích chemikáliích.

Kyselina sírová dodávaná do reakční baňky před zahájením reakce ethanol protonizuje za vzniku oxoniové soli, která je stabilní pouze při nízké teplotě. Ohřátím dochází k jejímu rozkladu na kyselinu ethylsírovou a vodu. Zatímco při nižší teplotě kyselina ethylsírová hydrolyzuje zpět na ethanol a kyselinu sírovou, jejím přehřátím nad 160 °C dochází ke vzniku ethenu, kyseliny sírové a vody.

Protonizovaný ethanol (kation oxoniové soli) ztrátou vody za současného odštěpení protonu poskytuje ethen (viz obr. 2).



Obr. 2. Průběh dehydratace ethanolu

## MODIFIKOVANÁ PŘÍPRAVA ETHYL-ACETÁTU

Do odměrné baňky objemu 100 ml byla připravena směs 5 ml 98% kyseliny octové s 6 ml 96% ethylalkoholu. Do této směsi byl pomocí pipety s balonkem odměřen 1 ml 96% kyseliny sírové. Připravená směs byla dokonale promíchána a na 90 minut ponechána v klidu (viz poznámka). Následuje zředění vodou doplněním po rysku. V hrdle baňky se bez předchozího míchání vytvoří sloupeček reakcí vzniklého ethyl-acetátu, jehož množství se v uzátkované baňce nemění ani několikahodinovým stáním. Proto je možno prakticky po několika minutách stání vzniklý ethyl-acetát odsát s použitím skleněného balonku (balonková technika), pipety s balonkem nebo jednorázové injekční stříkačky opatřené injekční jehlou vhodné délky. V této fázi

lze přípravu ukončit za předpokladu, že připravený produkt postačí k demonstraci základních vlastností esteru (bezbarvá kapalina nemísitelná s vodou, lehčí než voda, charakteristická vůně, hořlavá).

Pro získání čistého ethyl-acetátu lze pokračovat na základě dříve uvedeného, detailně komentovaného postupu s využitím pomůcek semimikrotechniky. V tomto případě je možné odměrnou baňku nahradit baňkou či zkumavkou objemu cca 20 ml, ze které po uplynutí reakční doby bude reakční směs k ředění vodou převedena do dělicí nálevky, kde proběhnou i další čistící operace (viz původní postup).

Poznámka: Protože bylo zjištěno, že se složení reakční směsi po uplynutí 90 minut výrazně nemění, lze celý postup rozdělit na dvě pracovní etapy, a to na přípravu reakční směsi a po 90 minutách až několika dnech zředění vodou a další zpracování.

## ZÁVĚR

V našem příspěvku jsme se pokusili na příkladu průběhu laboratorního cvičení z organické chemie ukázat i učitelům z praxe rozsah základních experimentálních činností s vědomím, že se jedná pouze o náznak možného přístupu. Na příkladu prvního zařazeného úkolu, přípravy ethyl-acetátu, jsme poukázali na význam hlubšího teoretického pochopení jednotlivých kroků prakticky prováděného postupu. Stejně zodpovědně je nutné postupovat při teoretické přípravě na každou další prak-

ticky prováděnou činnost. Většina experimentů se dá na základě patřičných znalostí, materiálního vybavení a cílů modifikovat (viz Richtř, Novák, 2019). Tuto možnost jsme realizovali předložením modifikované přípravy ethyl-acetátu, umožňující další alternativy provedení, o kterých pojednáme příležitostně v ucelené studii. Doporučujeme věnovat pozornost elektronickým odkazům v soupise použité literatury, kde jsou uvedeny další informace a návody k výše diskutovaným tématům.

Naší snahou bylo poukázat na nutnost teoretického i praktického zvládnutí širokého rozsahu laboratorních technik. Nezmiňujeme se o cvičeních k dalším vyučovaným disciplínám, které jsou již více specializované a vyžadují, aby student měl základní představu a zkušenost s experimentováním v různých situacích.

### *Poděkování*

*Práce vznikla díky projektu SGS-2019-025.*

### **Literatura**

- Klinotová, E., Klinot, J., Máca, B., Trnka, T. & Všetečka, V. (1980). Základní cvičení z organické chemie. Praha: Univerzita Karlova v Praze. 60-08-80.17/33.
- Mayo, D. W., Pike R. M. & Trumper P. K. (2001). *Microscale Techniques for the Organic Laboratory*. John Wiley & Sons, New York. ISBN 0-471-24909-2.
- McMurry, J. (2015). *Organická chemie*. Brno: VUTIUM. ISBN 978-80-214-4769-1.
- Mohring, J. R., Hammond, CH. N., Schatz, P. F. & Morrill, T. C. (2003). *Modern Projects and Experiments in Organic Chemistry*. W. H. Freeman and Company, New York.
- Pachmann, E. & Hofmann, V. (1981). *Obecná didaktika chemie*. Praha: SNP, 14-459-81.
- Prokša, M., Drozdíková, A., Igaz, C. & Gašparik, V. (2015). *Didaktika a technika školských pokusů z chemie*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislavě. ISBN 978-80-223-3755-7.
- Richtř, V. & Kraitř, M. (2004). Tenkovrstvá chromatografie ve výuce chemie. In: *Sborník katedry chemie Západočeské univerzity v Plzni, CHEMIE XX Plzeň, ZČU v Plzni (s. 57–71)*. ISBN 80-7043-296-9. Dostupné z <https://old.fpe.zcu.cz/kch/studium/racionalizace.html>. (Staženo 2. 8. 2021).
- Richtř, V. & Kraitř, M. (2006). Příprava a využití ozonu ve školních podmínkách. In: *Sborník katedry chemie Západočeské univerzity v Plzni, CHEMIE XXI, Plzeň, ZČU v Plzni (s. 47–61)*. ISBN 80-7043-452-x. Dostupné z <https://old.fpe.zcu.cz/kch/studium/racionalizace.html>. (Staženo 2. 8. 2021).



- Richtr, V., Kraitr, M. & Štrofová, J. (2010). Práce s malými kvanty látek v přípravě budoucích učitelů chemie. In: Sborník přednášek z mezinárodní konference konané dne 29. 9. – 1. 10. 2010 v Trojanovicích „Aktuální aspekty pregraduální přípravy a postgraduálního vzdělávání učitelů chemie“. Ostrava, Ostravská univerzita v Ostravě (s. 234–236), ISBN 978-80-7368-426-6. Dostupné z <https://old.fpe.zcu.cz/kch/studium/racionalizace.html>. (Staženo 2. 8. 2021).
- Richtr, V., Rieger, D., Vála, L., Štrofová, J. & Kraitr, M. (2015). Příprava ozonu pro školní i laboratorní užití. In: Chemické listy 109, 10, s. 799–803.
- Richtr, V., Šnaiberková, M. & Štrofová, J. (2015). Výzkumná činnost studentů v racionalizaci experimentální přípravy budoucích učitelů chemie. In: Sborník příspěvků XXIV. Mezinárodní konference o výuce chemie „DIDAKTIKA CHEMIE A JEJÍ KONTEXTY“. Brno: Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta (s. 162–165).
- Richtr, V. & Novák, L. (2019). Modifikace chemického experimentu v racionalizaci experimentální přípravy budoucích učitelů chemie. In: Biologie – Chemie – Zeměpis 28, 1, s. 10–16. <https://doi.org/10.14712/25337556.2019.1.2>
- Trnka, T. et al. (1989). Praktikum z organické chemie. Praha: SPN, 17-414-89.

#### **Internetové zdroje**

- Zdroj 1 RVP pro základní vzdělávání. Dostupné na <http://www.nuv.cz/t/rvp-pro-zakladni-vzdelavani> (staženo 11. 1. 2022).
- Zdroj 2 RVP pro gymnázia. Dostupné na <http://www.nuv.cz/t/rvp-pro-gymnazia> (staženo 11. 1. 2022).