

Václav Richtr, Lukáš Novák, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická, Katedra chemie

<http://dx.doi.org/10.14712/25337556.2019.1.2>

# MODIFIKACE CHEMICKÉHO EXPERIMENTU V RACIONALIZACI EXPERIMENTÁLNÍ PŘÍPRAVY BUDOUCÍCH UČITELŮ CHEMIE

## Rationalization for the Modification of Chemical Experiments for Future Chemistry Teachers

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

### Abstract

*This paper focuses on the possible modifications of time-consuming and materially demanding experiments for teaching purposes. The aim is the complex utilization of experiments for demonstrative purposes, putting to an effect several principles and techniques, while best limiting the undesirable side effects observed in the original experiments. In the opening part of this paper the fundamental concepts are introduced. The significance of improvisations and modifications is illustrated with an example of the modification of burners which were originally designed for coal gas. The principle of these modifications lies in constriction of the gas nozzle for the purpose of using natural gas instead. As an example of the rationalized modification, suitable for sundry levels of education, is introduced the ethyne preparation as the hydrolysis of calcium carbide in the specially designed simple apparatus. Suggested modification enables to monitor basic properties of emerging ethyne, while securing conditions out of danger. A modification of the platinum catalyzed oxidation of alcohols is the second example. The mentioned embodiment enables monitoring of an oscillatory reaction. The modification is originally suggested for methanol oxidation, but it can be used also for ethanol oxidation when conditions are changed a little. The oscillatory reaction is divided into three phases:*

1. *reaction initiation by putting preheated platinum spiral into a flask above the alcohol surface,*
2. *supplanting some air oxygen by an emerging aldehyde and slowing the processing reaction,*
3. *fresh air influx into the cooling flask to start reaction again.*

### Klíčová slova

*modifikace, improvizace, racionalizace, reálný experiment*

### Key words

*modification, improvisation, rationalization, real experiment*

## Úvod

Současná doba staví reálný experiment při výuce chemie na různých typech škol do poněkud zvláštní situace. Na straně jedné je třeba experiment vnímat jako velmi důležitou složku výuky, na straně druhé existuje řada jevů, které význam reálného experimentu snižují. Snahou učitelů chemie jako přírodovědného předmětu, který má v experimentu své kořeny, by mělo být jeho optimální zařazení a racionální provedení. Z mnohoznačnosti pojmu racionální (Klimeš, 1981) si pro naše chápání racionalizace představujeme takové uspořádání experimentu, které při optimálním provedení umožňuje jeho maximální výtěžitelnost, to znamená získání maxima informací. V praxi to znamená zvolit a provést experiment co možná nejefektivněji i za cenu, že se budeme pohybovat na poli modifikace a případně improvizace (Richtr, Kraitr, Vála, 2016). Některé experimenty vznikají i za zcela specifických podmínek při řešení odborných problémů souvisejících s regionálním působením pracoviště (Richtr, Kraitr, 2001). Na katedře chemie FPE ZČU v Plzni se modifikací, improvizací i racionalizací experimentu zabýváme dlouhodobě a s problematikou jsou seznamováni studenti, budoucí učitelé chemie i učitelé z praxe. V konferenčním příspěvku (Richtr, Kraitr, Vála, 2016) jsou rozvedeny hlavní směry ak-

tivit s příslušnými odkazy na původní práce. Přes bohatost této činnosti si musíme uvědomit, že každé pracoviště i učitel se nacházejí ve specifických podmínkách, a proto je třeba další řádky tohoto pojednání vnímat především jako materiál inspirativní jak pro studenty – budoucí učitele chemie, tak pro učitele z praxe.

## Improvizace v chemické laboratoři

Jedná se o proces, který má svá omezení věcná i legislativní, a v každém případě je k němu možné přistupovat až po řádném prostudování problému.

Velmi dobrým příkladem improvizace v chemické laboratoři bylo řešení situace, která nastala prakticky ze dne na den při náhradě rozvodné sítě svítíplynu zemním plynem. Svítíplyn, jehož složení se mění v závislosti na technologii výroby, má větší viskozitu než zemní plyn, jehož podstatnou složkou je methan. Uvedená změna paliva měla za následek to, že kahany konstruované na svítíplyn hořely „vysokým“ plamenem, jehož teplota byla poměrně nízká, takže neumožnila ani nejjednodušší zpracování snadno měknoucího skla. Při přiškrcení přívodu plynu se plamen snížil, ale jeho vlastnosti se nezměnily. Proto byla navržena

úprava (Richt, 1994) spočívající ve snížení procentuálního zastoupení zemního plynu ve směsi se vzduchem. Požadované vlastnosti plamene byly získány zúžením palivové trysky. Přestože úprava spočívala ve vlepění skleněné kapiláry do původní trysky a nepočítalo se s vysokou životností kahanů, většina kahanů slouží od roku 1993 dodnes a pro práci se sklem je studenty vyhledávanější než současně komerční kahany na zemní plyn, protože jejich plamen při teplotě až 1170 °C (měřeno termočlánkem Chromel-alumel) nesálá příliš do stran a umožňuje přiblížení ruky pracovníka, a tudíž i zpracovávání kratších skleněných trubíček. Výsledkem této improvizace je tedy vznik modifikovaného kahanu s vynikajícími parametry. S improvizací se setkáváme velmi často ve snaze vyřešit přesně popsáný pracovní postup v náhradních podmínkách. Tímto způsobem vznikají modifikované pracovní postupy, které přispívají k celkové racionalizaci práce.

## Modifikace pracovních postupů

Modifikace zahrnuje velmi širokou oblast činnosti a jejich produktů. V chemické laboratoři se jedná o činnosti promyšlené, účelově vedené, pro které je specifické prostředí, v němž jsou prováděné s jasným cílem, ke kterému směřují. Tato specifická plně koresponduje s experimentální činností katedry chemie Pedagogické fakulty ZČU v Plzni, o které pod úhrnným názvem „Transformace výzkumného experimentu do výuky chemie“ bylo referováno již dříve (Richt, Krait, 2001). Jedná se především o výzkumnou činnost, která integruje společné výzkumné aktivity učitelů a studentů katedry a zasahuje do třech základních oblastí výzkumu: experimentální činnost v oblasti didaktiky chemie, spolupráce s výrobními podniky regionu a výzkum triterpenoidních sloučenin.

## Experimentální činnost v oblasti didaktiky chemie

Tato oblast zahrnuje především výukový experiment, atraktivní pokus a demonstrace výrobních procesů. Je strukturálně velmi rozsáhlá a mnohdy zúročuje výsledky výzkumné činnosti z dalších oblastí a zasahuje širokou odbornou i laickou veřejností. Je velmi žádána učiteli základních i středních škol a v současné době mnohdy supluje reálný chemický experiment, který nemohou učitelé z různých důvodů realizovat ve svých třídách. I přes to, že experiment v tomto případě zcela neplní všechny didaktické aspekty, stává se účinným motivačním prvkem pro celkové vnímání chemie žáky základních a studenty středních škol, a mnohdy probouzí i zájem jejich učitelů o experimentální složku výuky chemie.

## Spolupráce s výrobními podniky regionu

Těžiště tohoto výzkumu sahá do 80. a 90. let minulého století. V současné době neprobíhá tak systematicky vzhledem k tomu, že zavedené podniky mají svá výzkumná centra, ale vybavenost katedry je nahodile využívána menšími firmami. Tato spolupráce umožňuje přímý nebo zprostředkovaný kontakt katedry s praxí. Charakteristické je to, že mnohdy vede k zavedení nových úloh do pravidelné výuky. Příkladem je vypracování metody stanovení sacharinu v šumivých vínech pro diabetiky jeho převedením na kyselinu salicylovou, která byla stanovována fotometricky (Procházková, 1980). V této souvislosti je na katedře zavedena fotometrická metoda stanovení železa v pitné vodě. Protože každá škola má ve svém regionu různé podniky s různou problematikou, může být uvedený příklad vnímán jako inspirace pro využití místních zdrojů k výukovým účelům alespoň v teoretické rovině.

## Výzkum triterpenoidních sloučenin

Přestože se jedná o velmi specifickou oblast výzkumné činnosti, je zde velká příležitost k modifikacím jednotlivých postupů pro didaktické využití. V této oblasti je nutno počítat s využíváním nejnovějších poznatků na základě systematického sledování informačních zdrojů. Protože jde většinou o mnohostupňové přeměny sloučenin primárně získávaných z přírodních zdrojů, spojené s izolacemi reakčních meziproduktů, dochází k významným poklesům množství původně zpracovávaného materiálu. Tento jev přímo podporuje modifikace izolačních a identifikačních postupů pro práci s malými kvanty látek a vede k užití specifických pracovních technik využívajících modifikovaná zařízení. Přesun práce do oblasti semimikrotechniky a mikrotechniky má své nesporné výhody (úspora času, úspora materiálu), ale vyžaduje mnohem pečlivější práci než makrotechnika (Horák, 1964, Richtr, 1993). S řešením problematiky triterpenoidních sloučenin souvisí další aktivity. Příkladem je vývoj ozonizátorů, který na katedře začal již zadáním diplomové práce „Ozonizace některých triterpenových sloučenin“ v roce 1975 a zatím vyvrcholil publikací v časopise Chemické listy (Richtr et al., 2015), kde jsou uvedeny další významné zdroje zabývající se touto tematikou.

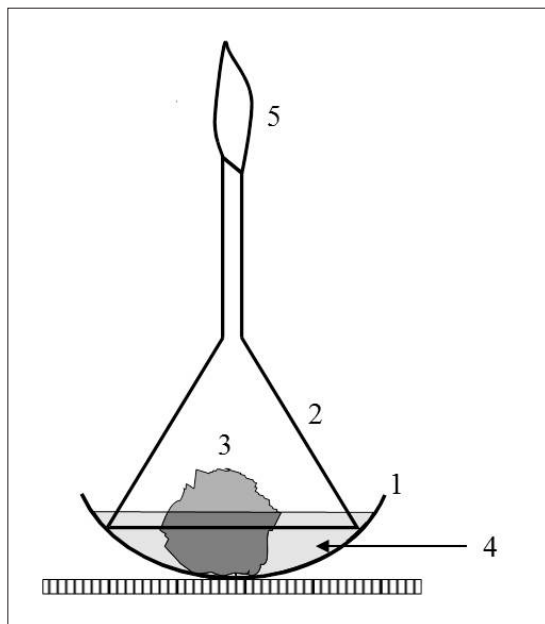
## Příklady racionalizačních postupů vhodných pro různé stupně vzdělávání

### Příprava a vlastnosti ethynu

Ethyn (acetylen) ve školních podmínkách je připravován zásadně reakcí karbidu vápníku s vodou probíhající podle rovnice



V učebnicích je obvykle uváděn pokus, při kterém se ethyn vyvíjí v nádobě (baňce nebo zkumavce) uzavřené vrtanou zátkou, která je opatřena zúženou trubičkou, na které lze vznikající ethyn (po ověření, že již v nádobě není přítomná výbušná směs) zapálit. V praxi hlavně z důvodu nedostatku karbidu nebo jeho špatné kvality experiment končí i explozí. Tomuto jevu lze zabránit uspořádáním, které bylo zveřejněno již dříve (Richtr, Kraitr, 1995) a které zahrnuje zkušenosti učitelů z praxe (Richtr, Štrofová, Kraitr, 2008). Celkové provedení experimentu je patrné z obr. 1.



Obr. 1 Uspořádání pokusu pro demonstraci vlastností ethynu

1 porcelánová miska; 2 skleněná nálevka;  
3 karbid vápníku; 4 voda; 5 hořící ethyn

Experiment je zcela bezpečný, když experimentátor na dno misky vloží kousek karbidu vápníku a po jeho překrytí nálevkou dodá ze stříčky do misky tolik vody, aby vytvořila vodní uzávěr, který zabrání úniku vznikajícího ethynu mimo ná-

levku a vstupu vzduchu pod okraj nálevky. Dostatečné ponoření nálevky do vody zabrání i jejímu nadzvednutí při prudší reakci karbidu s vodou. Vznikající plyn rychle vypudí z prostoru nálevky veškerý vzduch, takže může být po chvíli zapálen (viz obr. 1).

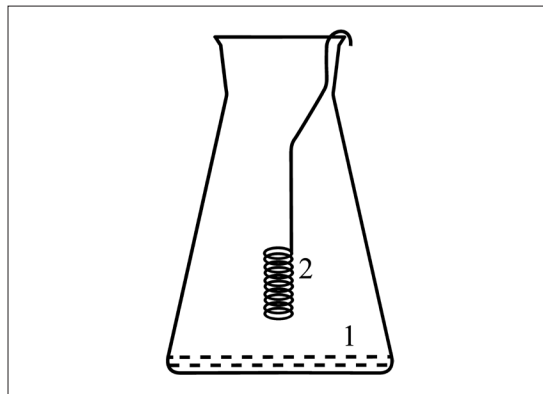
Při jeho hoření svítivým plamenem se uvolňují saze. Oba jevy lze využít k výkladu řady souvislostí (poměr uhlíku a vodíku, historické využití acetyleny ke svícení, autogenní svaření), následně je možno pokračovat dalšími významnými souvislostmi (uspořádání tlakové lahve s ethynem vzhledem k jeho výbušnosti při stlačování a dobré rozpustnosti v acetonu, jímž je sycena porézní náplň lahve – uvedení souvislosti mezi otevřením ventilu tlakové lahve s ethynem a lahve se sodovkou a nakonec zákaz umístování tlakové lahve s ethynem v průběhu svařování do vodorovné polohy – možnost vytékání acetonu do hadic). Pokus může skončit výjimečně explozí tehdy, když učitel chce experiment uskutečnit i při kritickém nedostatku karbidu a jeho špatné kvalitě. Potom se nevyvine tolik ethynu, aby byl vzduch zcela z prostoru nálevky vypuzen, a vznikne třaskavá směs, která po zapálení exploduje. V tomto případě však dojde pouze k odhození nálevky, aniž by létaly nebezpečné střepy jako při explozi v uzavřené nádobě.

### Oscilační průběh oxidace methanolu vzduchem

Oscilační (periodicky se projevující) reakce s nej-různějšími pozorovatelnými projevy (Tolstein, Treindl, 1986) patří mezi vyhledávané reakce s různou náročností provedení. Za jistých okolností se mohou na oscilační reakce přeměnit i některé již dříve popsané reakce. Klasickým příkladem je známá, platinou katalyzovaná oxidace alkoholu vzduchem (Přidal, Švehlík, 1972), která v později popsané modifikaci (Richtr, Štrofová,

Kraitr, 2008) umožňuje poměrně jednoduchý výklad celého průběhu reakce.

Limitujícími faktory jsou: objem použité baňky, průměr hrdla baňky, umístění platinové spirály nad hladinou v prostoru baňky, hmotnost a tvar použité platinové spirály.



Obr. 2 Modifikace oxidace methanolu (oscilační reakce)

1 vrstva použitého methanolu nebo ethanolu; 2 spirála vytvořená z platinového drátu (viz popis v textu)

Použita byla Erlenmeyerova baňka objemu 150 cm<sup>3</sup> s průměrem hrdla 35 mm a platinový drát celkové hmotnosti 2 g průřezu 0,5 mm, z něhož byla ponechána část v délce 6 cm na závěs do baňky a zbytek byl na tužce stočen do patnácti k sobě téměř stlačených závitů (délka vzniklého válečku činí 2 cm). Zavěšením tohoto válečku do středu baňky (spodní hrana válečku je ve výšce 2 cm od dna baňky, to je asi 15 mm od hladiny) jsou vytvořeny ideální podmínky k tomu, aby po zakrytí dna baňky methanolem, zavěšením výše popsané, v plameni rozžhavené spirály začala katalytická reakce (počáteční rozžhavení spirály lze provést i plamenem zapalovače). Při této reakci se methanol přeměňuje na formaldehyd (plyn charakteristického zápachu) a vzniká teplo, postačující k tomu, aby se platina udržovala na teplotě nutné pro průběh

reakce. Rychlost reakce je závislá na momentálních poměrech v baňce, které se dají charakterizovat takto:

- Při vložení žhavé spirály do baňky nad kapalinu začnou páry methanolu se vzdušným kyslíkem reagovat a vzrůstající teplota způsobí větší odpar methanolu, který spolu se vznikajícím formaldehydem způsobí částečné snížení obsahu vzdušného kyslíku v reakční směsi.
- Snížení obsahu kyslíku v reakční směsi způsobí snížení rychlosti oxidace methanolu, které se projeví snížením teploty spirály (přestane žhnout) i teploty plynů uvnitř baňky.
- V důsledku tohoto snížení teploty uvnitř baňky poklesne tlak, čímž je umožněn přístup vzdušného kyslíku, reakční směs získává ideální složení pro reakci, která se na horké (ne žhavé) platině opět rozběhne a způsobí rozžhavení spirály. Reakce se tak dostává do počáteční fáze a celý cyklus, jeví se jako periodické žhavení spirály, může pokračovat.

Popsané uspořádání jsme vyzkoušeli i pro oxidaci 96% ethanolu denaturovaného 1% benzínu. Při zmenšení vzdálenosti mezi hladinou ethanolu a spodním okrajem spirály na 10 mm reakce probíhá obdobným způsobem, avšak po delší době se její projevy zmírní. Stačí však dlaní natlačit do baňky

čerstvý vzduch nebo prostě celou baňkou po podložce posouvat sem a tam a spirála se opět rozžhává a celý proces probíhá popsáním způsobem. Odlišný průběh reakce s ethanolem lze přičíst vyšší teplotě varu ethanolu v porovnání s methanolem i acetaldehydu v porovnání s formaldehydem. Reakce s methanolem je poněkud atraktivnější rychlejším zahříváním reakční baňky a charakteristickým (nepříjemným) zápachem formaldehydu. Je zde vhodné upozornit i na desinfekční účinky formaldehydu.

## Závěr

Experimentální výuka přírodovědných předmětů by měla mít své opodstatnění a místo i do budoucna. Chemie jako předmět se v současné době nachází v obzvlášť složitých podmínkách, které reálnému experimentu příliš nepřejí. Cílem příspěvku je motivace vysokoškolských a středoškolských učitelů a studentů chemie k řešení nejrůznějších situací a hledání optimálních modifikací experimentů tak, aby se chemie, která je svou podstatou vědou experimentální, nestala v budoucnu doménou teoretické výuky s velmi omezeným vnímáním všeho konkrétního. Tyto snahy je třeba všestranně prosazovat již při přípravě budoucích učitelů chemie. Naše katedra má v tomto směru bohaté zkušenosti s kladnou odezvou ze strany našich absolventů, z nichž mnozí svůj vztah s katedrou neformálně udržují dosud.

**Poděkování** *Práce vznikla díky projektu SGS-2016-055.*

## Literatura

HORÁK, V. (1964): *Práce s malými kvanty v organické laboratoři*. Praha: SNTL, 04-615-64

KLIMEŠ, L. (1983): *Slovník cizích slov*. SPN Praha

PROCHÁZKOVÁ, K. (1980): *Vliv teploty tavení na stanovení sacharinu ve víně*. Diplomová práce. PF, Plzeň

RICHTER, V. (1993): *Semimikrotechnika v organické chemii*. Plzeň: ZČU. ISBN 80-7043-066-4

- RICHTR, V. (1994): Jak zvýšit účinnost plamene kahanu na zemní plyn. In: *Biologie-chemie-zeměpis* 3, 3, s. 34–36
- RICHTR, V., KRAITR, M. (1995): Atraktivní pokusy ve výuce chemie II. In: *Sborník Pedagogické fakulty Západočeské univerzity v Plzni, CHEMIE XV*. Pedagogická fakulta ZČU v Plzni, Plzeň, s. 33. ISBN 80-7043-160-1
- RICHTR, V., KRAITR, M. (2001): Transformace výzkumného experimentu do výuky chemie. In: *Zborník Príspevkov, 53. Zjazd chemických spoločností*, Banská Bystrica, s. 123
- RICHTR, V., KRAITR, M., ŠTROFOVÁ, J. (2008): Atraktivní pokusy ve výuce chemie V. In: *CHEMIE XXII*. Západočeská univerzita v Plzni, Pedagogická fakulta, s. 65. ISBN 978-80-7043-683-7
- RICHTR, V., KRAITR, M., VÁLA, L. (2016): Improvizace v chemické laboratoři a modifikace pracovních postupů. In: *Zborník príspevkov z konferencie Inovácie a trendy v prirodovednom vzdelávaní*. Bratislava 2016, s. 170, ISBN 978-80-223-4175-2
- 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
- TOCKSTEIN, A., TREINDL, L. (1986): *Chemické oscilace*. Praha Academia