

VÝUKA CHEMIE

MOŽNOSTI VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍCH LABORATORÍ PŘI VÝUCE CHEMIE NA STŘEDNÍCH ŠKOLÁCH

JIRÍ MIKEŠ^a a JOSEF HLAVATÝ^b

^a Ústav energetiky, Fakulta technologie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^b Ústav učitelství a humanitních věd, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
mikesi@vscht.cz, hlavatyj@vscht.cz

Došlo 1.7.19, přijato 10.10.19.

Klíčová slova: virtuální laboratoř, laboratorní cvičení, výuka, applet, digitalizace

Úvod

V dnešní době umí naprostá většina mladých lidí využívat rozsáhlé informační a komunikační technologie (ICT). Téměř každý žák střední školy dnes vlastní tablet nebo chytrý telefon s připojením k internetu. Vybavenost škol audiovizuální technikou a počítačovými učebnicemi lze považovat za přiměřenou. Na druhou stranu české střední školy nebývají běžně vybaveny alespoň jednou sadou tabletů pro všechny žáky v jedné třídě, stejně tak nelze spoléhat na to, že každý žák bude mít plně funkční chytrý telefon. Nutno poznamenat, že i v této oblasti se však situace nadále zlepšuje. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR (MŠMT) vydalo v souladu s nařízením vlády č. 203 (cit.¹) koncepci „Strategie digitálního vzdělávání do roku 2020“ (cit.²), jehož vizí je vybudování sdílené infrastruktury a kvalitních vzdělávacích zdrojů. Materiální podmínky pro využívání virtuálních laboratoří (VL) na středních školách jsou v zásadě dostatečné.

Výběr virtuálních laboratoří

Existuje množství publikací věnujících se VL. V některých jsou shrnuta data o dotazníkovém šetření uživatelů či žáků při používání VL³. Porovnání výuky ve VL a bez ní u konkrétního problému (symetrie molekul)⁴ nebo u konkrétní VL (ChemVLab +)⁵. Také je k dispozici srovnání výsledků učení s využitím VL a bez něj⁶ nebo výsledky učení při vzdělávání v klasické laboratoři a ve

VL pro více výukových problémů⁷, avšak původní publikaci věnující se výčtu, hodnocení či porovnání jednotlivých VL je velmi obtížné dohledat. Jeden z mála zdrojů, který se věnuje VL zaměřeným na chemii, je Portál Chemie 2.0 (cit.⁸), v anglických zdrojích pak přehled On-line Labs⁹ na stránkách Americké chemické společnosti. Virtuální laboratoře pro tuto studii byly vybírány z internetových zdrojů při vyhledávání výrazů „virtuální laboratoř“, „virtual lab“, „serious virtual reality“ a „serious educational games“. Vždy byly porovnávány jen laboratoře potenciálně využitelné při výuce chemie. Tento článek do jisté míry vychází z bakalářské práce jednoho z autorů¹⁰.

Metodika hodnocení VL

VL je definována jako: „Využití appletů a jiných simulačních a animačních nástrojů k prezentaci zkoumaného předmětu nebo jevu (většinou experimentu)“¹¹. Podoby VL jsou tedy poměrně rozsáhlé, může se jednat o program nainstalovaný do PC, applet, ve kterém se pracuje přes webové rozhraní, či aplikaci v mobilním telefonu nebo tabletu. V rámci tohoto článku je jako virtuální laboratoř označováno buďto virtuální prostředí, v němž lze provádět teoreticky neomezené množství virtuálních laboratorních úloh, anebo soubor jednotlivých virtuálních úloh na jedné platformě (např. soubor appletů na jedné internetové stránce). Pro hodnocení jednotlivých VL byla zvolena následující metodika.

Prvním zvoleným ukazatelem pro porovnávání VL je cena. Dalším prvkem, kterým se VL mohou lišit, je typ přístupu. V zásadě existují dva základní typy, buďto online přístup nebo program, popř. aplikace, kterou je nutno stáhnout a nainstalovat. Na internetu může téměř kdokoliv publikovat cokoli, mnohé virtuální laboratoře nefungují, fungují špatně nebo jen v určitém internetovém prohlížeči. Zkoumána byla funkčnost u třech nejpoužívanějších internetových prohlížečů¹², tj. Google Chrome, MS Edge a Mozilla Firefox. U aplikací pro chytrá zařízení zase nemusí být vždy podporovány všechny operační systémy, hodnocena byla použitelnost v Google Android a Apple iOS. Další ukazatel, který je u jednotlivých VL posuzován, je jejich funkčnost. Čtvrtým ukazatelem je jazyk, v němž je daná VL dostupná. V našem prostředí je nesporně nejvýhodnější užívat VL v češtině. Při pracích zadávaných ve VL, které nepodporují češtinu, je např. možné doplnit toto zadání českým návodem, nebo žákům poskytnout jinou podporu. Již naznačeným ukazatelem je množství úloh, příp. u otevřených laboratoří počet nástrojů pro vytvoření jednotlivých úloh.

Charakteristika jednotlivých virtuálních laboratoří

*Live Chem*¹³

Jedná se o VL určenou pro provádění reakcí roztoků kationtů s relativně širokou škálou analytických činidel, kyselin a peletkami zinku či třískami hořčíku. Je k dispozici 14 roztoků kationtů a 22 činidel, prakticky je tedy možné provést 308 pokusů a zkoumat barevné změny či vznik sraženiny pro jednotlivé kombinace. Po navolení příslušného kationtu a analytického činidla je možné spustit videozáznam zkumavky s danou kombinací a je vidět, zda a jaká reakce proběhne. Live Chem je přístupný zdarma, jedná se o applet, který lze spustit ve všech běžně používaných internetových prohlížečích. V této VL lze pracovat pouze v anglickém jazyce. VL Live Chem je možné využít např. při výuce kvalitativní analytické chemie na mokré cestě, pro ukázky srážecích reakcí, při probírání třídění reakcí podle vnějších změn apod.

*PhET Interactive Simulation*¹⁴

VL PhET obsahuje velké množství appletů, které jsou použitelné pro mnohé kategorie. PhET interaktivní simulace jsou vyvíjeny na University of Colorado. Při vývoji se klade zřetel na interaktivnost simulací, jejich úpravu na základě zpětné vazby od uživatelů, názornost, didaktickou kvalitu, intuitivnost ovládání, propojení se skutečností a zároveň se simulace snaží být pro žáky zábavné¹⁵. Všechny simulace jsou volně dostupné bez nutnosti registrace. PhET simulace se bez problému zobrazují ve všech běžně používaných prohlížečích, pro spuštění některých simulací je nutné nainstalovat aktuální Java ovladače a následně daný applet stáhnout a přímo v internetovém prohlížeči spustit, což může ve školním prostředí s omezenými právy uživatelů činit jisté potíže. Po stažení Java ovladače jsou všechny applety plně funkční. V současné době je k dispozici 152 simulací, z nichž 135 bylo přeloženo do češtiny. Zmíněné simulace se týkají více vyučovacích předmětů, pro chemii je určeno 54, z nichž je 41 v českém jazyce. Zmíněné počty reflektují rozdělení úloh do jednotlivých kategorií na webu vydavatele, není tedy vyloučena možnost používání simulací z jiných předmětů při výuce chemie. Přítomny jsou applety pro velké množství probíraných témat. Jsou zde úlohy zařaditelné do výuky různých výpočtů (pH, koncentrace, látková koncentrace), vyčíslování chemických rovnic, demonstrací rozpustnosti jednotlivých látek, stavbu molekul, reakční kinetiku a další. Většinou jsou applety z VL PhET použitelné spíše jako demonstrační či ilustrační pokusy během výkladu než pro výuku virtuálních laboratorních cvičení.

*Virtual LAB*¹⁶

Virtual LAB je VL, která je součástí výukové sekce stránek společnosti BASF. Jedná se o propracované applety doplněné velkým množstvím průvodních informací. Tematicky se tato VL zaměřuje na velký rozsah chemických vědních oborů od biotechnologií, přes fyzikální chemii, analytickou chemii, chemické inženýrství, chemii potravin až po forenzní analýzu. Je účelně zaměřena na

spojení teorie s praktickým životem. Svým zpracováním je však určena spíše pro věkovou kategorii do 13 let (cit.¹⁷). Pro výuku na středních školách je tato VL využitelná jen velmi omezeně. Plná verze je dostupná zdarma, Virtual Lab bez jakýchkoliv problémů funguje ve všech zmíněných internetových prohlížečích bez nutnosti cokoli stahovat. VL není dostupná v češtině, podporováno je devět jazyků včetně angličtiny a němčiny. Ve Virtual LAB je pro uživatele připraveno devět tematicky zaměřených místností, v nichž lze provádět velké množství jednodušších úloh.

*Virtuelles Labor*¹⁸

Tato VL je součástí velice rozsáhlého a propracovaného výukového portálu nakladatelství Seilnachs Verlag. Kromě vlastní VL je zde k dispozici velké množství dalších podpůrných materiálů, kromě chemie i z fyziky a biologie. Využitelná je virtuální úloha, v níž lze provádět kvalitativní anorganickou analýzu na mokré cestě a plamenové zkoušky barvení plamene celkem pro šest iontů. Kromě toho je zde připravena jedna virtuální úloha odměrné analýzy. Celý portál je přístupný zdarma, pouze se zde nabízejí možnosti nákupu různých publikací, VL je dostupná ve všech výše zmíněných internetových prohlížečích a s jejím používáním nejsou žádné potíže. VL Virtuelles Labor je dostupná pouze v německém jazyce.

*Chemistry Solutions*¹⁹

American Association of Chemistry Teacher na svých internetových stránkách nabízí sedmáct různých appletů pro výuku chemie a jeden sdílený PhET applet. Přístup k těmto appletům je zcela zdarma a nejsou problémy se zobrazením či spuštěním. Virtuální úlohy jsou funkční a graficky relativně zdařilé, některé z nich jsou ovšem příliš jednoduché, nijak zábavné a pro provádění virtuálních laboratorních cvičení spíše nevhodné, naopak je lze využít pro vysvětlování mnohých problémů při teoretickém výkladu (stavba atomu, izotopy, vyčíslování chemických rovnic). Všechny úlohy jsou dostupné pouze v anglickém jazyce.

*Molekular Workbench*²⁰

Molekular Workbench software je „open-source“ modelovací nástroj pro navrhování a vedení experimentů napříč vědními obory vyvíjený The Concord Consortiumem. Krom náročného programování vlastních úloh nabízí vývojář množství hotových virtuálních úloh na svém webu. V oblasti chemie se jedná o 22 úloh, z nichž je přibližně polovina vhodná pro použití na středních školách. Konkrétně jsou zde zastoupeny virtuální úlohy týkající se chemické vazby, průběhu chemických reakcí a orbitalů. Předpřipravené virtuální úlohy stejně jako již zmíněný modelovací nástroj jsou k dispozici zdarma. Pro spuštění je vyžadována součinnost Java ovladačů, navíc se musí každá virtuální úloha stahovat zvlášť. Spouští se bez problémů v prohlížeči MS Edge a Mozilla Firefox, v Google Chrome je spuštění problematické. Jedná se o malé soubory ve formátu .jnlp, který všeobecně může být pro systém nebezpečný, což by mohlo znamenat problémy s nastavením

práv a „firewallu“ u školních počítačů. Všechny virtuální úlohy jsou dostupné jen v anglickém jazyce.

*General Chemistry Interactive Simulations*²¹

Tato VL, spravovaná profesorem anorganické chemie Williamem Viningem ze Státní univerzity v New Yorku, se skládá ze 75 různých appletů. Některé z těchto appletů jsou spíše interaktivní kalkulačky konkrétních úloh (např. applet, který vypočítá ostatní tři hodnoty z: pH, pOH, $[H^+]$ a $[OH^-]$ pro silnou jednosytnou kyselinu či zásadu po zadání jedné z těchto hodnot), jiné se však dají považovat za virtuální laboratorní úlohy. Přístup je rovněž zdarma v plné verzi, úlohy fungují bezproblémově ve všech běžných internetových prohlížečích, celý web je pouze v anglickém jazyce.

IrYdium (ChemVLab+)

Program IrYdium vyvíjený skupinou ChemCollective²² na Carnegie Mellon University se poněkud liší od výše popsanych VL. Jedná se o tzv. otevřenou virtuální laboratoř, ve které lze provádět velké množství experimentů omezených jen danými chemikáliemi, laboratorním nádobím a přístroji. Na webu skupiny ChemCollective je k dispozici 40 virtuálních laboratorních úloh, z nichž mnohé jsou využitelné pro výuku na SŠ. Ke každé úloze je připravena celá VL a popis „chemického problému“, jakési zadání laboratorní úlohy společně s otázkami, na které má žák odpovědět po provedení příslušných pokusů. Takovým zadáním je třeba: připravte 500 ml roztoku HCl o $c = 0,5 \text{ mol l}^{-1}$, k dispozici je pouze 11,6 M kyselina. IrYdium obsahuje údaje o teplotě, pH a základní spektroskopická data. Zároveň je při kliknutí na jakoukoliv naplněnou nádobu k dispozici tabulka, v níž jsou zobrazeny všechny látky a ionty v ní obsažené. Lze volit mezi zobrazením látkového množství, látkové koncentrace a hmotnosti. Celkově se jedná o dobře propracovaný plně funkční systém, který se blíží realitě a práce v něm je relativně pohodlná a intuitivní. Poněkud zastaralé může působit grafika programu. Program IrYdium, stejně jako předpřipravené úlohy jsou k dispozici bezplatně. IrYdium je pro operační systém MS Windows dostupné ve čtrnácti jazykových mutacích, čeština však chybí. S programem je možné pracovat i v operačním systému MacOS, avšak jen v anglické verzi. Předpřipravené virtuální úlohy jsou dostupné v angličtině, španělštině a italštině. Virtuální úlohy lze použít např. při výuce odměrné a vážkové analýzy, měření hustoty, osvětlení problémů rozpustnosti, při experimentálním ověření disociace kyselin a dalších tématech vyučovaných na SŠ.

Chemist

VL Chemist vyvíjená společností Thix je aplikací určenou pro chytré mobilní telefony a tablety²³. Na českém trhu je dostupná za 269 Kč v Google Play, resp. 9 \$ v AppStore. Aplikace je podporována operačními systémy Android a iOS. K dispozici je uživatelům sedmáct základních druhů laboratorního nádobí a vybavení. Pro provádění experimentů slouží více než 200 látek a směsí, z nichž je asi 60 organických. Kromě běžného nádobí je

k dispozici teploměr, pH papírek, zápalky a další běžně používané laboratorní vybavení. Aplikace zobrazuje reakce uskutečněné v laboratorních nádobách ve formě vyčíslených chemických rovnic. Lze volit teplotu v laboratoři, atmosféru, v které se experimenty provádějí, a zrychlovat čas, což lze s výhodou využít při pomalých chemických dějích. Aplikace generuje textový výstup s historií, co se provádělo v laboratoři. Aplikace je plně funkční, má plynulý běh, je prostá chyb v programování a celkově funguje bez problémů. Simulace laboratorních procesů je relativně realistická, nechybí prasknutí chemického nádobí, různé zvuky apod. Nevýhodou může být menší intuitivnost a jistý čas potřebný k naučení se efektivní práci v této VL, stejně jako částečný překryv uživatelské nabídky s horní třetinou laboratorního stolu (plochy chytrého zařízení).

Beaker

VL Beaker je stejně jako VL Chemist aplikací určenou pro chytrá zařízení vyvíjenou společností Thix²⁴. V základní verzi je dostupná zdarma, mnoho funkcí však není dostupných, jednotlivé funkce se dokupují za 29 Kč. Aplikace je podporována operačními systémy Android a iOS. Celý displej funguje jako kádinka, chemikálie se přilévají a přisypávají pohybem prstu a vybírají se z menu, které obsahuje 12 kapalných látek a 132 pevných látek. Při otočení displeje vzhůru nohama se virtuální kádinka vyprázdňuje, lze ji také uzavřít virtuálním víčkem a zahřívát, v rozšířené verzi i filtrovat, chladit či míchat. Velice zajímavá je možnost práce s dvěma zařízeními, zařízení jsou spolu schopná komunikovat a pomocí senzorů polohy snímat svoji pozici, lze tedy přelévát jednu látku či směs z jedné virtuální kádinky do druhé. Po proběhnutí reakce aplikace vypisuje chemické rovnice proběhlých reakcí, vzhledem ke středoškolskému učivu lze demonstrovat hoření, vytěsňování ušlechtilějšího kovu méně ušlechtilým, neutralizaci, reakce kyselých a zásaditých oxidů a další.

Srovnání vedení výuky v klasické a virtuální laboratoři

Nedílnou součástí výuky chemie na středních školách bývají chemické pokusy podle potřeby prováděné v odborných učebnách nebo ve školních laboratořích. Podle vnitřních forem výuky lze chemické pokusy dělit na demonstrační (provádí učitel nebo žák pod přímým dohledem vyučujícího) a žákovské (které provádějí přímo žáci)²⁵. Školní pokus ve VL a v klasické laboratoři lze porovnávat z mnoha hledisek. Dušek a spol.²⁵ uvádí čtyři základní hlediska: didaktické, ekonomické, bezpečnosti práce a časové. Vzhledem ke kontextu dnešní doby nelze opomenout ani hledisko motivační²⁶. Z didaktického hlediska je jednoznačně výhodnější experimentovat v klasické laboratoři, VL totiž žákům poskytuje jen obrazový, popř. zvukový vjem, při experimentování v klasické laboratoři mohou žáci důsledky pokusu navíc cítit hmatem, vnímat teplo či chlad apod. Nezastupitelná je i skutečnost, že VL na monitoru počítače nebo displeji tabletu či mobilního tele-

fonu je až na určité výjimky jen dvourozměrná. Z ekonomického hlediska je zcela jistě výhodnější využívání virtuální laboratoře, náklady na výpočetní techniku sice stále nejsou zanedbatelnou položkou v rozpočtech škol, nicméně v naprosté většině případů jsou osobní počítače již k dispozici. U časového hlediska je nutné si uvědomit, že pokus v klasické laboratoři se musí připravit a správný učitel by jej měl předem i vyzkoušet, zároveň se často vyžaduje příprava pokusu v laboratoři či v jiných, k tomu určených prostorách. Naproti tomu pokus ve VL si může učitel zkusit a připravovat v podstatě kdekoli a kdykoliv. Další čas je nutné po provedení pokusů věnovat úklidu laboratoře a mytí nádobí, popř. likvidaci odpadních chemikálií. Z časového hlediska tedy práce ve VL vychází jednoznačně lépe. I přes vysoký standard bezpečnosti práce v laboratořích na českých středních školách není a ani nemůže být školní laboratoř zcela bezrizikové pracoviště, tudíž i z hlediska bezpečnosti práce je výhodnější pracovat ve VL. U motivačního hlediska nelze jednoznačně a univerzálně rozhodnout, zdali je lepší provádět pokusy v klasické či virtuální laboratoři. Moderní technologie a zvláště pak chytré telefony a tablety jsou žákům blízké a tudíž jim mohou přiblížit i učivo chemie, na druhou stranu dobře připravená laboratorní úloha v klasické laboratoři je pro žáky vítanou změnou během vyučovacího procesu.

Shrnutí a závěr

Z ekonomického, bezpečnostního a časového hlediska je práce ve VL pro výuku na středních školách jednoznačně výhodnější než práce v klasické školní laboratoři. Z hlediska motivačního nelze jednoznačně rozhodnout, zdali je lepší pracovat v té či oné laboratoři. Z didaktického hlediska vychází lépe běžná laboratoř. Většina VL je dostupná zdarma, a až na výjimky nebývají problémy s jejich spuštěním. Trh s VL není nijak rozsáhlý, povětšinou jsou VL vyvíjeny univerzitními týmy a skupinami. Mezi dostupnými VL a virtuálními úlohami převládají simulace konkrétních jevů nad tzv. otevřenými virtuálními laboratořemi.

LITERATURA

1. Usnesení vlády č. 203 Státní politiky v elektronických komunikacích – Digitální Česko v. 2.0, Cesta k digitální ekonomice, 2013.
2. Strategie digitálního vzdělávání do roku 2020, MŠMT, 2014.
3. Su C. H., Cheng T. W.: *Sustainability* 11, 1 (2019).
4. Achuthan K., Kolil V. K., Diwakar S.: *Educ. Inf. Technol.* 6, 2499 (2018).
5. Davenport J. L., Rafferty A. N., Yaron D. J.: *J. Chem. Educ.* 8, 1250 (2018).
6. Hodges G. W., Wang L., Lee, J., Cohen A., Jang Y.: *Comput. Educ.* 122, 179 (2018).

7. Irby S. M., Borda E. J., Haupt J.: *Chem. Educ.* 2, 224 (2018).
8. Melichar P.: <https://portal-chemie.webnode.cz/o-autorovi/>, staženo 11. 6. 2019.
9. <http://onlinelabs.in/about>, staženo 29. 5. 2019.
10. Mikeš J.: *Bakalářská práce*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2016.
11. Bílek M., Turčáni M.: *Pedagogika, Časopis pro vědy o vzdělávání a výchově* 4, 361 (2006).
12. <https://www.w3schools.com/browsers/default.asp>, staženo 9. 6. 2019.
13. http://www.chem.ox.ac.uk/vrchemistry/livechem/transitionmetals_content.html, staženo 4. 5. 2019.
14. <https://phet.colorado.edu/cs/>, staženo 24. 5. 2017.
15. Moore E. B., Chamberlain J. M., Parson R., Perkins K. K.: *J. Chem. Educ.* 8, 1191 (2014).
16. <https://basf.kids-interactive.de/>, staženo 9. 4. 2019.
17. Lang C.: *Awakening Interest in the Natural Sciences – BASF's Kids' Labs*. *Chimia* 11, 848 (2012).
18. <http://www.seilnacht.com/Chemie.htm>, staženo 30. 5. 2019.
19. <https://teachchemistry.org/periodical/simulations>, staženo 2. 6. 2019.
20. <http://mw.concord.org/modeler/showcase/chemistry.html>, staženo 9. 2. 2019.
21. <http://employees.oneonta.edu/viningwj/sims>, staženo 14. 5. 2019.
22. <http://chemcollective.org/home>, staženo 5. 4. 2019.
23. <http://thix.co/chemist/>, staženo 8. 6. 2019.
24. <http://thix.co/beaker>, staženo 8. 6. 2019.
25. Dušek B., v knize: *Kapitoly z didaktiky chemie*. kapitola 5.2, str. 57–82. VŠCHT Praha, Praha 2009.
26. Ruiz I. L., Espinosa E. L., Garcia G. C., Gomez-Nieto M. A.: *J. Chem. Inf. Model.* 4, 1075 (2001).

J. Mikeš^a and J. Hlavatý^b (^a *Department of Power Engineering, University of Chemistry and Technology, Prague*, ^b *Department of Education, University of Chemistry and Technology, Prague*): **Possibilities of Using the Virtual Lab for High School Chemistry Teaching**

In the present contribution, application possibilities of virtual laboratories (VLs) for secondary school chemistry lessons are summed up. The work procedures in common and virtual laboratories are compared and advantages and disadvantages of both types are described. The main part of the article deals with a thorough description of available VLs and their assessment based on the unified methodology. In addition, the paper discusses possibilities of using VLs with regard to the terms of educational programs currently effective for grammar schools.

Keywords: virtual lab, laboratory, teaching, applet, digitization