

Počítačem podporovaný školní chemický experiment jako prostředek badatelsky orientované výuky.

Martin Bilek, Jaroslav Hruby

Abstract: *In the contribution are presented, analysed and discussed possibilities of computer supported school chemical experiment as means for realisation of inquiry-based science education (IBSE). Presented theoretical base and announcements to practical applications are focused to early natural science (chemistry) education.*

Key words: *inquiry-based science education, computer supported school chemical experiment, early chemistry education.*

Úvod

Konstruktivistické paradigma začíná v poslední době stále více pronikat do způsobu uvažování o přírodovědném vzdělávání, což dokumentuje zvýšená publikační činnost zejména v anglosaské a německé literatuře (Nezvalová a kol., 2005). V naší pedagogické literatuře se již objevují také některé práce, ale v relativně malém počtu oblastí přírodovědného vzdělávání (např. Doulik, 2005). Vnímání poznání jako konstruktivní činnosti se vztahuje jak na poznávací činnost žáka, tak na podpůrnou činnost učitele přírodovědných předmětů či výzkumníka v oblasti oborových didaktik přírodovědných předmětů. Základním východiskem je chápání vědeckých představ a představ žáků (prekonceptů) jako rovnocenných zdrojů pro rekonstrukci obsahové struktury. V době probíhající kurikulární reformy v České republice vzniká nová šance pokusit se zvýšit zájem žáků o přírodovědnou výuku, o výběr dalšího studia a povolání v oblasti přírodních věd a technologie, a v neposlední řadě i zlepšit přírodovědnou gramotnost celé populace. Je možné detekovat několik linií pro inovace přírodovědné výuky v uvedeném smyslu, jako jsou:

- zájem žáků o přírodní vědy a jejich výuku (O co se zajímám?; Co se chci učit?; Co budu potřebovat?) odpověďmi na tuto otázku jsme se zabývali např. v analýzách výsledků mezinárodní srovnávací studie ROSE (Relevance of Science Education) (např. Bilek, 2005, Gedrovics, Bilek, Janiuk, Mojsa, Mozheika, Řadkova, 2008),
- kontext výuky (ideál – „školní věda“, aplikační kontext, společenský kontext, osobnostní kontext) (např. Lavonen, Jutti, Byman, Meisalo, 2006),
- obsah výuky (standardy; rámcové a školní vzdělávací programy; tradice; nová témata (např. Paško, 2007, Čtrnactová, Zajiček, 2010, Kmeťová, 2011),
- kompetence (klíčové kompetence; „scientific literacy“; přírodovědné činnosti, badatelsky orientovaná výuka (Held a kol., 2011, Profiles Project, 2012, Primas Project, 2012).

Kritizovaný instruktivistický (transmisivní) přístup k výuce ve školách je charakterizován dominantním postavením učitele a receptivní pasivitou žáků. Vědecké poznatky jsou získávány ve formě, která téměř vylučuje jejich pozdější aplikaci a využití. Žáci neumějí své znalosti použít v konkrétních situacích, protože nedovedou rozpoznat jejich vztah ke skutečnosti. Nedokáží své abstraktní poznatky přenést do reálné situace. Cílem učitele musí být vytvoření obsahově bohaté, komunikativní prostředí, které osloví subjektivní oblast zkušenosti a současně obsahuje nové „hadanky“, které zvou ke kreativní samoorientaci. Umění učitele spočívá v tom, že předvídá řetězec navaznosti mezi původní konstrukcí skutečnosti u žáka a vědeckými poznatky, které žák pojímá jako stav očekávaného rozporu a řeší a překonává různým přístupem včetně cesty pokusů a omylů (Bilek, Klečková, 2006).

Badatelsky orientovaná výuka v počátečním chemickém vzdělávání

Badatelsky orientovaným přírodovědným vzděláváním či přírodovědnou výukou se rozumí přístup označovaný v anglickém jazyce jako IBSE (Inquiry-Based Science Education). Český ekvivalent tohoto pojmu je stále ještě předmětem diskuse, a tak je možné se setkat i s jinými pojmy označujícími stejný koncept, např. „badatelsky orientované přírodovědné vyučování“, ze slovenského překladu inspirovaná „výzkumně laděná koncepce přírodovědného vyučování“ (Held a kol., 2011), případně objevné vyučování přírodovědným předmětům aj. Blízko tomuto konceptu jsou i zname komplexní výukové metody řešení problémů a projektová metoda. Každopádně je IBSE založena na odklonu od

vyuky bazirujici na pouhem osvojovani prezentovanych faktů a její transformaci na vyuku, která klade důraz na koncepční porozumění a na vlastní proces osvojování znalostí. Podstatou tohoto přístupu je zapojení učičích se do objevování přírodovědných zákonitostí, propojování informací do smysluplného kontextu, rozvíjení kritického myšlení a podpora pozitivního postoje k přírodním vědám (Kyle, 1985, Rakow, 1986). Důraz je kladen na vyučovací proces založený na aktivní činnosti učičích se, tedy na badání (inquiry) a ne na memorování faktů (Profiles Project, 2012). „Inquiry“, překládáno ve vzdělávacích souvislostech nejčastěji jako badání, má v angličtině i řadu dalších vystižně charakterizujících významů badatelské činnosti, a to zjišťování, vyšetřování, šetření nebo dotazování, využívá se i substantivní překlad jako dotaz či otázka. Proto je možné se ztotožnit s českou definicí Stuchlikové (2010) či Papačka (2010), že „badání (inquiry) je cílevědomý proces formulování problémů, kritického experimentování, posuzování alternativ, plánování zkoumání a ověřování, vyvozování závěrů, vyhledávání informací, vytváření modelů studovaných dějů, rozpravy s ostatními a formování koherentních argumentů.“ Někteří z autorů pojímají požadovanou „inquiryorientaci“ zejména přírodovědného vzdělávání jako přechod od deduktivní vyuky k vyuce induktivní (Held a kol., 2011). Nakolik jde o potřebu výrazného posílení induktivní stránky poznávacího procesu, nedomníváme se, že je žádoucí vytěsnění deduktivních poznávacích cest z přírodovědného vzdělávání. Jak jsme ukázali v komplexním schématu přírodovědného poznávání (Bilek, M. a kol., 2011, s. 16) jde o vzájemně důležitou souhru obou stranek poznávacího procesu, tedy vzájemnou komplementaritu nástrojů poznávání jak empiricko-induktivní tak teoretickodeduktivní povahy. Při praktických aplikacích IBSE je zřejmé, že školní badání nebude vždy totožné s badáním vědců. Je nutné brát ohled na věkové souvislosti, obsahové souvislosti a také souvislosti materialně-technické. Např. Banchi a Bell (2008) tak charakterizovali čtyři úrovně IBSE s ohledem na podíl řízení činnosti žáků ze strany učitele. Jde o badání tzv. potvrzující (confirmation), strukturované (structured), nasměrované (guided) a otevřené (open).

Počítačem podporovaný školní chemický experiment a badatelský přístup

Přímé spojení reálného chemického experimentu s počítačem představují počítačové měřicí systémy, tj. využití počítače ke snímání, uchování a zpracování měřicích se hodnot fyzikálních a fyzikálně-chemických veličin a jako řídicího média při automatizaci experimentální činnosti. K nutnosti jejich využívání i ve škole vedou hlavně následující důvody (Bilek, M. a kol., 2011):

- přímá podpora experimentální činnosti tj. snímání hodnot měřených veličin v průběhu experimentu tj. v reálném čase,
- okamžité vyhodnocení a následně uchování experimentálních dat,
- přiblížení použití počítačů v automatizovaných systémech řízení technologických procesů výroby,
- osvojení si metod získávání informací a jejich zpracování pomocí počítače a jeho periferií, a také nahrazení mnoha drahých laboratorních přístrojů.

Spojení reálného experimentu tj. v něm použitého technického zařízení, přístroje nebo aparatury s řídicím a registračním zařízením je realizováno buď přivedením digitálních dat přímo na vstupní port zařízení nebo počítače, nebo v případě analogových dat užitím základních komponent řízených automatizovaných systémů – speciálních počítačových periferií – A/D – analogově-digitálních a D/A – digitálněanalogových převodníků, které dány analogový signál digitalizují. A/D a D/A převodníky jsou tedy zařízení sloužící k registraci dat měřicích se fyzikálních veličin v probíhajícímu experimentu a k ovlivňování reakčních podmínek prostřednictvím ovládaných akčních členů. Pomocí počítače a A/D převodníku mohou být měřeny veličiny, které je možné měnit na proporcionální elektrický signál. Proto přichází v úvahu kromě měření elektrických veličin i měření teploty, tlaku, hmotnosti, tečných napětí, pH, vodivosti, intenzity osvětlení aj. A/D převodník je při těchto měřeních spojen na vstupu s měřicím čidlem (elektrodou, snímačem, apod.) nebo výstupem z daného měřicího přístroje a na výstupu s počítačem, kterému transformovaný signál předává. D/A převodník umožňuje transformaci digitální informace z počítače (výsledku programové instrukce) na analogový signál ovládající akční člen. Pro aplikace ve školní praxi jsou vyvíjeny počítačové měřicí systémy, které nahrazují drahé profesionální komplexní hardwarové a softwarové systémy používané v moderní výrobní praxi.

Existují v zásadě dva základní způsoby připojení měřicích přístrojů k počítači:

1. Vlastní měřicí přístroj je vně počítače a je s ním spojen přes standardní rozhraní.
2. Do základní desky počítače se zasouvá karta (s A/D a D/A převodníky, s digitálními vstupy a výstupy), ke které se připojují měřené signály a ovládané akční členy.

Uvedena aplikace počítačů ve vyučování přináší také problém použití vhodného software. Existuje řada softwarových balíčků z průmyslové praxe, využitelných pro tvorbu řídicích komplexů v technologických procesech, ale poměrně značná komplikovanost a svazanost se speciálními perifériemi znesnadňuje jejich školní využití. Proto má softwarové vybavení školních počítačových měřicích systémů několik základních atributů, na které je kladen zvláštní důraz zejména z hlediska jednoduchosti a názornosti. Těmito atributy jsou zvláště:

- digitalní znázornění veličin v dostatečné velikosti a graficky zaznamenané na monitoru buď současně, nebo v přepínatelném režimu,
- možnost realizace srovnání podobných měření, tj. současné znázornění několika naměřených souborů dat uložených na disku nebo porovnání se souborem dat získaných simulací reálného experimentu,
- možnost provedení výřezu grafického záznamu, jeho zvětšení na monitoru a jednoduše zpracování dat,
- realizace měření ve dvou základních režimech práce – v časových intervalech nebo po krocích.

Každý takový měřicí program je možné rozdělit zpravidla na tři základní části:

- měření zvolené veličiny – MĚŘENÍ,
- práce s datovými soubory – DATA,
- zpracování dat – ZPRACOVÁNÍ.

Část MĚŘENÍ slouží k nastavení nebo kontrole parametrů prováděného experimentu. Jednotlivé parametry jsou voleny buď postupně, nebo najednou, formou dialogového okna. Režim DATA umožňuje práci s naměřenými daty uloženými v souborech, tj. jejich zobrazení a „zoom“, ukládání a načítání, výstup na tiskárnu nebo zapisovač. Úpravy a zpracování naměřených dat se provádějí v části ZPRACOVÁNÍ.

Programy obsahují dle svého určení různé možnosti práce s daty, od pouhého zobrazení nebo spojení jednotlivých hodnot přes proložení aproximačními křivkami až po složitější statistické operace. Na základě možnosti hardware i software počítačových měřicích systémů je možné využít např. následující skupiny přednosti počítačem podporovaných chemických experimentů, která akcentuje možné využití všech čtyř výše formulovaných úrovní IBSE.

I. Kinetický aspekt chemických experimentů

Často jsou na školách prováděny experimenty tím způsobem, že žáci pouze určí hodnotu určité veličiny v reakční nádobě před a po skončení reakce. Tak mohou měřit např. teplotu laboratorním teploměrem, pH univerzálním indikátorovým papírkem, určovat změnu zabarvení roztoku, vznik sraženiny apod. Počítačové měřicí systémy umožňují jednoduše a operativně zavedení kinetického aspektu k prováděným experimentům, tj. určovat a registrovat hodnoty měnící se veličiny v průběhu probíhajícího děje. Pro sledování jeho průběhu přináší toto technické zařízení další konkrétní výhody: registrovat měřenou veličinu v malých intervalech např. i menších než 1 sekunda (měření laboratorním teploměrem vyžaduje cca 30 sekund pro odečtení a zápis příslušné hodnoty teploty) nebo naopak větších než 1 hodina (dlouhodobá sledování), paralelní současnou tvorbu grafického záznamu, uložení a vyhodnocení experimentálních dat. Systémy pro použití v chemickém experimentu většinou využívají následující tři režimy registrace experimentálních dat, a to registrace měřené veličiny v předem zvolených časových intervalech, registrace měřené veličiny v předem zvolených intervalech jiné veličiny (nezávisle proměnná na ose x, poloautomatická měření, indikace změny intervalu na ose x např. stisknutím libovolné klávesy, kliknutím myši apod.) a registrace měřené veličiny v závislosti na jiné měřené veličině (automatická měření, minimálně dvoukanalová). Pro IBSE je v tomto přístupu důležité rychle a relativně přesně zajištění registrace dat pro verifikaci odpovědi na formulované otázky (verifikace hypotéz), další zpracování dat a jejich prezentace.

II. Rychlost měření a frekvence experimentů

Výhodou počítačových měřicích systémů je kromě rychlosti registrace experimentálních dat i velká variabilita měřicích přístrojů. Jednoduchou zaměnou čidel (případně čidel a modulů) se stává během několika sekund z digitálního teploměru digitální pH metr apod. Tak je umožněno provedení velkého počtu měření, často bez omezení měřenou veličinou a je možné analyzovat širší experimentální celky. Pro realizaci IBSE se nabízí několik možných variant, jako je metodická řada experimentů (posloupnost měření vzájemně navazujících nebo graduujících), paralelní (komparativní) experimenty (porovnání různých parametrů zkoumaného děje), dílčí experimenty (kooperativní přístup k verifikaci formulovaných problémů), tematické celky experimentů (komplexní pojetí problémů jako např. monitoring životního prostředí), zesilování aktivizačních prvků ve vyučování (technické zařízení pro získání relevantních dat z probíhajících dějů a na nich založené věrohodné verifikace

formulovaných hypotéz apod.).

III. Kvantitativní aspekt experimentů

Počítačové měřicí systémy poskytují možnosti pro kvantitativní vyjadřování jevů, které byly dosud často ve škole popisovány pouze kvalitativně. Umožňují provedení experimentů, které by se daly nazvat „ze života“, tj. jejich motivační složka se dotýká vlastních zkušeností žáka – experimentátora, tak, že je možné kvantitativní cestou odhalit i malé rozdíly v měřených veličinách apod. Tyto metody tvorbou a ověřováním hypotéz, snahou o nějaký konkrétní produkt nebo závěr přispívají podstatnou měrou k formování intelektuálních i senzomotorických dovedností. V rámci formulovaných čtyř úrovní IBSE můžeme připomenout několik aplikací počítačových měřicích systémů v přírodovědné výuce s akcentem na chemické hledisko. Jsou to například potvrzující badání při experimentálním ověřování stechiometrických koeficientů neutralizační reakce (teplotní čidlo k určování změny teploty při neutralizační reakci s různým molárním poměrem reaktantů) (Čipera, Bilek, 1997), strukturované badání při verifikaci tvorby škaly pH ze vzorků domácnosti ve znamení miniprojektu „Chemie v kuchyni“ (pH-čidlo pro měření pH sady vzorků „chemikálií“ z domácnosti) (Bilek, 1999), nasměrované badání při hledání příčin rozdílných tepelných efektů při odpařování kapalin z povrchu teplotního čidla (Bilek, Tobořikova, 2010) nebo otevřené badání při hodnocení přírodovědných principů deformovaných v sugestivních televizních reklamách (pH-čidlo) (Bilek a kol., 1995).

Zavěr

Počítačem podporovaná měření jak ve školní laboratoři tak mimo ni vnašejí do školního experimentování nové možnosti zefektivňování laboratorní činnosti žáků ve směru „induktivního přístupu“ tedy ve směru podpory realizace badatelsky orientovaného přírodovědného, a tedy i chemického, vzdělávání. Tvorba diagramů a grafů jako prostředků verifikace formulovaných hypotéz nebo očekávaných výsledků s přímou účastí žáků je významným příspěvkem k budování přírodovědné gramotnosti (Nodzyńska, 2012, Kričfaluši, 2011). Problematická dostupnost složitějších a drahých technických zařízení (automatické byrety, titratory, akční členy) je tak zastoupena poměrně jednoduchým a flexibilním zařízením na bázi počítačové techniky, která se stává stále více dostupnou pro školní podmínky, a která nás stále více provází i v každodenním životě. Proto je nutné školní paradigma přírodovědného vzdělávání orientovat na formování dílčích kompetencí, které dominují při přírodovědném badání (Bilek, Tobořikova, 2010), tedy na pozorování a měření, srovnávání a uspořádávání, zkoumání a experimentování, předvídaní a dokazování, diskuse a interpretaci, modelování a matematizaci, řešení a komunikaci. Stále více zaznamenáváme trendy zvyšování jednoduchosti, robustnosti a univerzality školních počítačových měřicích systémů na jedné straně a jejich ekonomická dostupnost na straně druhé jsou pro tyto potřebné změny velkým příslibem.

Literatura

1. BANCHI, H., BELL, R. The Many Levels of Inquiry. *Science and Children*, Vol. 46(2), 2008, pp. 26 – 29.
2. BILEK, M. a kol. *IP-Coach a chemický experiment*. Liberec, Praha: CMA Foundation prostřednictvím PEPEKO a MFF UK, 1995.
3. BILEK, M. Počítačem podporovány chemický experiment i na základní škole. *B-Ch-Z*, ročník 8, číslo 3, květen 1999, s. 140 – 145.
4. BILEK, M. Why to Learn Science and Technology? Selected Results of the International ROSE Project. In E. Mechlova (ed.) *Information and Communication Technology in Education - Proceedings*, University of Ostrava : Ostrava, 2005, pp. 11 – 14.
5. BILEK, M., KLEČKOVÁ, M. K možnostem inovace výuky chemie na základní škole v době kurikulární reformy. In D. Kričfaluši, D. (ed.) *Aktuální aspekty pregraduální přípravy a postgraduálního vzdělávání učitelů chemie - sborník přednášek z mezinárodní konference*. Ostrava: PŘF OU, 2006, s. 13 – 16.
6. BILEK, M., TOBOŘIKOVÁ, P. Aktuální výzvy pro počítačem podporované školní chemické experimenty. In A. Chupač, J. Veřmiřovský, J. *Aktuální aspekty pregraduální přípravy a postgraduálního vzdělávání učitelů chemie - Sborník přednášek z mezinárodní konference*, Ostrava: PŘF OU, 2010, s. 32 – 35.
7. ČIPERA, J., BILEK, M. Komplexní použití počítačů ve výuce chemie (Určování koeficientů reaktantů). *Technologia vzdělávání*, 7/97, 1997, s. 12 – 15.
8. ČTRNACTOVÁ, H., ZAJIČEK, J. Současné školství a výuka chemie v České republice a v EU. *Chemické listy*, 100, 811-818, (2010).
9. DOULIK, P. Geneze dětských pojetí vybraných jevů. *Acta Universitatis Purkynianae 107 - Studia Pedagogica*, Ústí nad Labem: UJEP, 2005.
10. GEDROVICS, J., BILEK, M., JANIUK, R. M., MOJSA, R., MOZHEIKA, D., ŘADKOVÁ O. Trendy změn v zájmech a postojích patnáctiletých žáků k přírodním vědám. In *Acta Facultatis Paedagogicae Universitatis Tyrnaviensis, Seria D - Vědy o výchově a vzdělávání, Ročník 12*,

- 2008; Supplementum 2 - Aktualne vyvojove trendy vo vyučovaní chemie, Zborník príspevkov z konferencie. Smolenice, 12. – 14. maj 2008, Trnava: PF TU, 2008, s. 13 – 17.
11. HELD, L. a kol. *Vyskumne ladená koncepcia prirodovedného vzdelávania. IBSE v slovenskom kontexte*. Bratislava: Vydavateľstvo TYPI Universitatis Tyrnaviensis, 2011.
12. KMEŤOVÁ, J. Stav a perspektívy pregraduálnej prípravy učiteľov chemie na Slovensku. *B-Ch-Z*, ročník 20, číslo 3x, 2011, s. 122 – 126.
13. KRIČFALUŠI, D. Podpora vzdelávani v oblasti prirodovedných oborů. *B-Ch-Z*, ročník 20, číslo 3x, 2011, s. 340 – 344.
14. KYLE, W. C. What research says: Science through discovery: Students love it. *Science and Children*, Vol. 23(2), 1985, pp. 39 – 41.
15. LAVONEN, J., JUTTI, K., BYMAN, R., MEISALO, V. Contexts and Teaching Methods in School Science. In M. Marnauza, M. *Theory for Practice in the Education of Contemporary Society - Scientific articles and Conference proceedings*. Riga: RPIVA, 2006, pp. 277 – 281.
16. LINN, M. C., DAVIS, E.A., BELL, P. *Internet environments for science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 1999.
17. NEZVALOVA, D. a kol. *Konstruktivismus v integrovanem pojati prirodovedného vzdelávani - Bibliografie publikaci k projektu GAČR 406/05/0188*. Olomouc: PŘF UP, 2005.
18. NODZYŃSKA, M. *Wizualizacja w chemii i nauczaniu chemii*. Krakow: Wydawnictwo Uniwersytetu Pedagogicznego, 2012.
19. PAPAČEK, M. Badatelsky orientovane prirodovedne vyučovaní – cesta pro biologické vzdelávani generaci Y, Z a alfa? *SCIED*, roč. 1, č. 1, 2010, s. 33 – 49. [on/line]. Dostupne na WWW: <http://www.scied.cz/Default.aspx?ClanekID=330&PorZobr=1&PolozkaID=122> [cit. 29. 8. 2012]
20. PAŠKO, J. R. Perspektívy dydaktyki chemii. *Acta Didactica* 1/2007, FPV UKF Nitra, s. 50– 58.
21. PRIMAS Project. PRIMAS to promote inquiry-based learning in mathematics and science at both primary and secondary levels across Europe. [on/line]. Dostupne na WWW: <http://www.primas-project.eu> [cit. 29. 8. 2012]
22. PROFILES Project. Profesní reflexně-orientovane zaměření na badatelsky orientovane prirodovedne vzdelávani (IBSE). [on/line]. Dostupne na WWW: <http://profiles.ped.muni.cz/ibse.php> [cit. 29. 8. 2012]
23. RAKOW, S. J. *Teaching Science as Inquiry*. Fastback 246. Bloomington, Phi : Delta Kappa Educ. Found, 1986.
24. STUHLIKOVA, I. O badatelsky orientovanem vyučovaní. In M. Papaček (ed.) *Didaktika biologie v Česke republice 2010 a badatelsky orientovane vyučovaní - DiBi 2010*, s. 129 – 135. [on/line]. Dostupne na WWW: <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/bi/DiBi2010.pdf> [cit. 29. 8. 2012]

prof. PhDr. Martin Bilek, Ph.D.
Oddělení didaktiky chemie, Katedra chemie, Přírodovědecká fakulta
Univerzita Hradec Kralove
Rokitanského 62, 500 03 Hradec Kralove, Česka republika
martin.bilek@uhk.cz

Mgr. Jaroslav Hruby
Pedagogická fakulta
Univerzita Hradec Kralove
Rokitanského 62, 500 03 Hradec Kralove, Česka republika