

Tomáš KOZÍK¹, Marek ŠIMON²

¹ Prof., Ing., DrSc., *Univerzita Konstantina Filozofa v Nitre, Pedagogická Fakulta, Katedra techniky a informačných technológií, 949 01 Nitra; tkozik@ukf.sk*

² Ing., PhD., *Univerzita sv. Cyrila a Metoda v Trnave, Fakulta prírodných vied, Katedra aplikovanej informatiky a matematiky, J. Herdu 2, 917 01 Trnava; marek.simon@xmod.sk*

PERSPEKTÍVA REÁLNYCH EXPERIMENTOV VO VZDELÁVANÍ

THE PERSPECTIVE OF REAL EXPERIMENTS IN EDUCATION

Kľúčové slová: vzdelávanie, reálny experiment, kreatívne myslenie

Keywords: education, real experiment, creative thinking.

Abstrakt

Reálny experiment v prírodovedných a technických predmetoch je ich významnou súčasťou. Umožňuje žiakovi/štvrtákovi hlbšie pochopenie príčinných súvislostí medzi prírodovednými javmi a procesmi, ktoré sú predmetom skúmania technických odborov. Umožňuje pochopenie odvodenia teoretických vzťahov a predpovedania alebo predvídania vývoja procesov a chovania sústav za daných vnútorných a vonkajších podmienok. Vo vzdelávaní je experiment tým prostriedkom, ktorý významne pôsobí na rozvoj kreatívneho myslenia žiakov/štvrtákov a na získavanie praktických zručností, ktoré budú potrebovať pri ich budúcom pracovnom uplatnení. Napriek tomu, že informačné technológie, ktoré v ostatných rokoch výrazne ovplyvňujú obsah, formy a prostriedky vzdelávania, reálne experimenty majú aj v súčasnosti svoje opodstatnenie vo vzdelávaní v prírodovedných a technických predmetoch.

Summary

The real experiment in the natural and technical subjects is their important part. It allows pupils/students a deeper understanding of the causal relationship between natural science phenomena and processes that are investigated in technical fields. It also allows to understand the derivation of theoretical relationships and predicting and anticipating the development of the process and the behavior of the system in different internal and external conditions. In education, the experiment is such means which significantly influences the development of creative thinking of pupils/students and on gaining practical skills needed in their future job. Although the information technologies in recent years greatly influence the content and forms of education, the real experiments have currently a justified use in the education in nature science and technical subjects.

Úvod

Experiment je základná metóda vedeckého poznania v prírodných a technických vedách, ale aj v spoločenských, ktorou sa skúmajú v kontrolovaných a riadených podmienkach určité javy. Úlohou experimentu v edukačnom procese je názorne ukázať žiakovi/študentovi nové poznatky. Pomôcť mu pochopiť príčinné vzťahy, overiť hypotézy, výpočet alebo deduktívne odvodený záver. Ďalším prínosom experimentu je rozvoj zručnosti v zaobchádzaní s pomôckami a meracími prístrojmi. Laboratórne skúsenosti sú v priamom vzťahu s predchádzajúcimi vedomosťami študenta. Ako uvádza Clough¹, „vyvolávajú aktívny duševný boj medzi vedomosťami a novými skúsenosťami a podporujú metakogníciu“.

Pre realizáciu školských experimentov je však potrebné technické vybavenie, ktorého cenová úroveň zodpovedá jeho parametrom. Z pohľadu aktívnej práce žiakov je ideálne mať rovnaké vybavenie pre niekoľko skupín súčasne. Z diskusií s učiteľmi na školách, máme poznatky, že väčšina škôl na Slovensku a v niektorých susedných krajinách skôr udržiava a len minimálne inovuje už dávno presluhujúce vybavenie laboratórii. Tak sa stáva, že množstvo ukážok, meraní, pozorovaní či skúmaní ostáva len v teoretickej rovine. Ďalším problémom pri realizovaní experimentov sú učebné osnovy. Ako uvádzajú Škoda a Doubík², „chrtie preteky s nemilosrdnými osnovami odsúvajú využívanie pokusov až niekde k samému okraju záujmu učiteľov, pretože čas, potrebný na realizáciu pokusu a vyvodenie záverov, je potrebný na zahľtenie študentov ďalšími abstraktnými pojmami“. Kozík³ upozorňuje na odklon od praktickej prípravy v technickom a prírodovednom vzdelávaní. Ako autor uvádza, „ešte v nedávnej minulosti boli vo výučbe technických a prírodovedných predmetov široko využívané demonštračné pokusy a experimenty, ktorých úlohou bolo potvrdzovanie teoretických úvah“.

Nástup informačných technológií do oblasti vzdelávania priniesol okrem e-learningu aj e-laboratóriá. E-laboratóriá sú tvorené počítačom sprostredkovanými vzdialenými reálnymi alebo simulovanými experimentmi. Reálne vzdialené a simulované experimenty spolu s elektronickými študijnými textami tvoria integrovaný e-learning, ktorý Ožvoldová, Schauer a Lustig⁴ považujú za jednu

¹ M.P. Clough, *Using the laboratory to enhance student learning*. In Learning Science and Science of Learning, R. W. Bybee, Ed. National Science Teachers Association, Washington 2002.

² J. Škoda, P. Doulík, *Lesk a bída školního chemického experimentu* [in:] Bílek, M. (ed.) *Výzkum, teorie a praxe v didaktice chemie XIX. Research, Theory and Practice in Chemistry Didactics XIX*. 1. část: *Původní výzkumné práce, teoretické a odborné studie*, Gaudeamus, Hradec Králové 2009, s. 238–245, ISBN 978-80-7041-827-7.

³ T. Kozík, *Aktuálne problémy technického vzdelávania*, Medinárrodná konferencia „Strategie technického vzdelávania v reflexi doby“, Ústí nad Labem 1-3 máj, 2011.

⁴ M. Ožvoldová, F. Schauer, F. Lustig, *Integrovaný e-learning – nová metóda výučby demonštrovaná na príklade kmitov*. In: Zborník z konferencie Vzdelávanie v zrkadle doby. Nitra 2006: PF UKF.

z progresívnejších a v dnešnej dobe aj najrýchlejšie sa rozvíjajúcou výučbovou metódou.

Pri vyššie spomenutých reáliách je možné si položiť otázku. Prečo rozvíjať výučbu s podporou reálnych experimentov?

1. Charakteristika reálneho laboratória

Reálne laboratória zahŕňajú fyzicky skutočný výskumný proces. Od iných typov laboratórií ho odlišujú dva základné znaky:

- všetky potrebné laboratórne zariadenia sú reálne a nachádzajú sa v laboratóriu;
- študenti/žiaci, ktorí sa zúčastňujú na laboratórnom experimente, sú fyzicky prítomní.

Skúsenosti získané v reálnych laboratóriách sa všeobecne považujú za riešenie pomáhajúce študentom/žiakom učiť sa vedu. Intuitívne sa zdá, že priame skúsenosti zlepšia porozumenie študentov/žiakov. Laboratórne skúsenosti však sami o sebe ešte nestačia na pochopenie a vysvetlenia preberanej látky. Študenti/žiaci musia byť aj vnútorne účastní na experimente. Ako uvádza Clough⁵, „prefabrikované laboratórne „kuchárky“, také bežné vo výučbe prírodovedných predmetov, len zriedkavo upútajú študenta spôsobom potrebným k uľahčeniu porozumenia“.

Bransford a Brown⁶ upozorňujú, že „hands-on“ experimenty môžu byť účinným spôsobom, ako vytvoriť základ nových vedomostí žiakov alebo študentov, ale sami o sebe neevokujú základné koncepčné porozumenie, také potrebné pre zovšeobecnenie pozorovaných javov.

Pri realizácii experimentov si študent/žiak utvrdzuje už získané teoretické vedomosti, z ktorých vyvodzuje všeobecné závery. Spĺňa sa tak požiadavka konštruktivizmu, aktívnej konštrukcie poznatkov študentom/žiakom. Experimenty, ktoré z hľadiska bezpečnosti práce a príslušných právnych noriem nemôže študent/žiak robiť priamo, robí učiteľ demonštračne. Ostatné experimenty by mal robiť študent/žiak v závislosti na možnostiach a vybavení laboratória individuálne, alebo v malých skupinkách.

Pri realizácii experimentu je dôležité, aby učiteľ nezabúdal na jeho vyhodnotenie študentom/žiakom a zmysluplnú interpretáciu výsledku. Ďalej je dôležité viesť študenta/žiaka počas konania experimentu k osvojovaniu si a dodržiavania základných pravidiel bezpečnosti pri fyzikálnych pozorovaniach, meraniach a experimentovaní. Ako uvádza Blaško⁷, žiacky pokus by mal byť

⁵ M.P. Clough, *Using the laboratory to enhance student learning...*

⁶ J.D. Bransford, A.L. Brown, R.R. Cocking, *How people learn: brain, mind, experience, and school*, National Academy Press, Washington 2004.

⁷ M. Blaško, *Úvod do modernej didaktiky I. (Systém tvorivo-humanistickej výučby)*, 2009 [online]. Dostupné na internete: <http://web.tuke.sk/kip/main.php?om=1300&res=low&menu=1310>.

jednoduchý, presvedčivý a bezpečný. Po ukončení pokusu by mal študent/žiak demonštrovaný jav znovu vysvetliť, popísať a zovšeobecniť. Prípadne písomne dokumentovať. Rozvíjaním schopnosti pozorovať, popisovať a analyzovať predvádzané javy a deje sa študent/žiak učí prvkom vedeckej práce.

Sociálne prostredie v školskom laboratóriu je zvyčajne menej formálne ako v klasickej triede. Vďaka tomu poskytujú laboratóriá príležitosti na produktívne interakcie medzi študentmi/žiakmi a pedagógom/učiteľom, ktoré majú potenciál skvalitniť výučbové prostredie. Hofstein a Luneta⁸ tvrdia, že výučbové prostredie výrazne závisí od povahy činností vykonávaných v laboratóriu, od očakávaní pedagóga/učiteľa a študentov/žakov, a od charakteru hodnotenia. Toto prostredie je čiastočne ovplyvnené aj materiálmi, prístrojmi, zdrojmi a fyzickým prostredím, ale hlavne je funkciou klímy a očakávaní od učenia, spolupráce a sociálnej interakcie medzi študentmi/žiakmi a pedagógom/učiteľom, a povahy skúmania v laboratóriu.

2. Experiment vo vyučovacej hodine

Pôsobenie pedagóga/učiteľa na vyučovacej hodine s experimentom je, ako definuje Blaško⁹, zamerané predovšetkým na učebné činnosti, ktoré umožňujú študentovi/žiakovi:

- vytváranie a overovanie hypotézy z pozorovania rôznych javov a hľadanie jej zdôvodnenia a vysvetlenia;
- porovnávanie rôznych názorov alebo prístupov pri riešení experimentálnych úloh,
- určovanie, ktoré dodatočné informácie je potrebné zistiť pre splnenie úlohy experimentu;
- rozhodovanie a výber jedného variantu riešenia;
- realizáciu pokusov, overenie si výsledku riešenia, zváženie jeho uplatnenia v praxi;
- samostatné pozorovanie, meranie, experimentovanie, využívanie matematických a grafických prostriedkov, diskusiu o probléme, vzájomnú komunikáciu a tímovú spoluprácu;
- porovnávanie, nachádzanie súvislostí medzi príčinami a ich dôsledkami;
- riešenie úloh, ktoré vyžadujú prepojenie vedomostí a zručností z viacerých vyučovacích predmetov, využitie praktických zručností z rôznych oblastí ľudskej činnosti, teda úloh umožňujúcich viacero prístupov k ich vyriešeniu,

⁸ A. Hofstein, V.N. Lunetta, *The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century*. Laboratory of Science Education, 2004, 88(1), 28–54

⁹ M. Blaško, *Úvod do modernej didaktiky I...*

- precvičovanie modelových príkladov pri riešení problémov pomocou algoritmu, stanovenie si vlastného pracovného postupu, vlastnej voľby poradia vypracovania úloh, vlastnej kontroly výsledkov;
- opravovanie a vylepšovanie vlastnej práce.

Ako už bolo spomenuté v úvode, ďalším prínosom experimentu je rozvoj zručnosti v zaobchádzaní s pomôckami a meracími prístrojmi. Blaško¹⁰ uvádza nadobúdanie nasledovných kľúčových kompetencií pri žiackych experimentoch: komunikačné, informačné, matematicko-vedné, učebné, kompetencie na riešenie problémov, personálne a sociálne, pracovné a podnikateľské.

Z pohľadu experimentov vo fyzike, Pavlendová¹¹ uvádza tieto kľúčové kompetencie: kompetencia k celoživotnému vzdelávaniu, kompetencie uplatňovať matematické myslenie a poznanie v oblasti vedy a techniky, kompetencie sociálne a personálne, kompetencie pracovné, kompetencie vnímať a chápať kultúru a vyjadrovať sa nástrojmi kultúry.

3. Jednoduché experimenty

Halušková¹² uvádza dobré skúsenosti so zaradením jednoduchých experimentov do prednášky fyziky pre I. stupeň vysokoškolského štúdia. Jednoduché experimenty pri vhodnom uplatnení vyučujúcim vo výučbovej hodine sú významným a dôležitým prvkom výučby v technických a prírodovedných predmetoch. Abstraktné pojmy, s ktorými sa učitelia stretávajú v týchto predmetoch, pri použití jednoduchých experimentov nadobúdajú konkrétny obsah, stávajú sa pre žiaka/študenta zrozumiteľnejšie a významovo jednoznačné. Pod vplyvom účasti žiaka/študenta na práci, i keď s jednoduchým experimentom, tento získava konkrétnu predstavu o tom, čo vyjadruje teoreticky odvodený vzťah a aký má vzťah, súvislosť s realitou. Získava aj pochopenie účelnosti a dôležitosti teoretických výpočtov a meraní pre svoju budúcu prácu.

Rozsah teoretických poznatkov v prírodných a technických vedách sa neustále rozširuje. Snaha pedagógov, učiteľov je poskytnúť svojim študentom/žiakom najnovšie poznatky v príslušnej vednej oblasti, čo sa často uskutočňuje na úkor praktických činností učiacich sa – experimentov. Situácia môže byť aj opačná. Nedostatok dobrých učebných pomôcok, nedostatok alebo nezáujem pedagóga/učiteľa

¹⁰ *Ibidem.*

¹¹ G. Pavlendová, *Experimenty a príklady – dilemma alebo súčinnosť*, Zborník: Tvorivý učiteľ III., Národný festival fyziky 2010, Smolenice 4–7 máj 2010, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice 2010, s.58–66, ISBN 978-80-969124-9-0.

¹² S. Halušková, *Jednoduchý pokus – motivačný prvok na prednáške*, Zborník: Tvorivý učiteľ II., Národný festival fyziky 2009, Smolenice 19-22, apríl 2009, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice 2009, s.44–47, ISBN 978-80-969124-8-3.

o výučbu s podporou reálnych experimentov a s uplatňovaním tvorivého prístupu k práci so študentmi/žiakmi často vyúsťuje do rozširovania teoretických vedomostí študentov/žiakov na úkor získavania praktických skúseností a zručností prostredníctvom práce s experimentom.

Aby pedagóg/učiteľ pri používaní experimentu vo výučbe dosiahol očakávaný vzdelávací a výchovný efekt musí disponovať potrebnými pedagogickými a didaktickými vedomosťami a skúsenosťami. Musí byť odborne a metodicky pripravený na prácu s experimentom. Musí vedieť vhodne zaradiť experiment do výučbovej hodiny, názorným a ľahko pochopiteľným spôsobom. Dôležité je, aby pedagóg pre experiment získal študenta/žiaka a vzbudil v ňom záujem s experimentom pracovať. Okrem toho pedagóg/učiteľ musí byť aj technicky zručný a pred vyučovaním si každý experiment pripraviť, overiť jeho funkčnosť a premyslieť organizáciu výučby.

4. Jednoduché domáce experimenty

Jednoduché a materiálne nenáročné experimenty, opakovateľné študentom v domácom prostredí, oživujú prednášku a pomáhajú študentom/žiakom pochopiť prednášanú látku.

Baník¹³ vysvetľuje možnosti domácich fyzikálnych experimentov, ktoré si žiak môže vykonať pomocou bežných a dostupných predmetov aj sám doma. Práve povzbudzovanie žiakov i študentov k domácejmu fyzikálnemu alebo technickému experimentovaniu môže zlepšiť ich vnímanie prírodovedných a technických predmetov. Autor odporúča zbierať témy pre samostatné domáce experimentovanie na každom stupni škôl. Tieto témy potom odporúča poskytnúť učiteľom prírodovedných a technických predmetov, aby ich mohli využiť na usmerňovanie žiakov a študentov k takejto experimentátorskej činnosti. Doposiaľ chýba samostatná publikácia zameraná na domáce experimentovanie študentov/žiakov.

Ako kľúčové prvky experimentálne riešených problémov uvádza Kireš¹⁴ nasledované: netradičnosť (novosť) problému, dostupnosť experimentálneho zariadenia, možnosť použiť vlastné (nie predpísané) originálne riešenia, nejednoznačnosť odpovede na problém, nutnosť hľadať odpovede na základe experimentálnych výsledkov, možnosť formulovať vlastné vedecké závery.

¹³ I. Baník, *Jednoduchý experiment – materské mlieko školskej fyziky*, Zborník: Tvorivý učiteľ III., Národný festival fyziky 2010, Smolenice 4-7, máj 2010, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice 2010, s. 58–66, ISBN 978-80-969124-9-0.

¹⁴ M. Kireš, *Rozvíjanie experimentálnych zručností študentov gymnázia*, Zborník: Tvorivý učiteľ III., Národný festival fyziky 2010, Smolenice 4-7, máj 2010, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice.2010, s.58-66, ISBN 978-80-969124-9-0.

Kvôli časovej náročnosti objavovania poznatkov experimentálnou činnosťou autor odporúča ich zaradenie najmä do voľnočasových aktivít v rámci neformálneho vzdelávania.

Hlavnou výhodou jednoduchých domácich experimentov, je ich materiálová nenáročnosť a dostupnosť použiteľných materiálov, z ktorých sú pripravované, jednoduchá príprava a často aj záujem študentov/žiakov o ich realizovanie. V domácich jednoduchých experimentoch sa využívajú materiály a predmety, ktoré sú bežne dostupné takmer v každej domácnosti. Záujem študentov/žiakov o domáci experiment, jeho vytvorenie a odskúšanie závisí od námetu a témy experimentu. Pri návrhu a tvorbe experimentu študent/žiak rozvíja nielen tvorivé schopnosti, ale aj ďalšie psychomotorické vlastnosti, ktoré mu budú budúcnosti nápomocné v jeho každodennej práci.

J.A. Komenský vo svojom diele „Analytická didaktika“¹⁵ zdôrazňoval, že poznatky treba žiakom podávať tak, aby bolo do procesu poznávania zapojených čo najviac zmyslov. Toto je v protiklade k nahradzovaniu reálnych experimentov reálnymi vzdialenými alebo simulovanými experimentmi. Nevhodnosť úplnej náhrady reálneho experimentu potvrdzujú aj novšie štúdie, napríklad Abdulwahed a Nagy¹⁶, ktorí navrhujú integrovať reálne, reálne vzdialené a simulované experimenty do jedného celku (TriLab).

Záver

Reálne experimenty vo vyučovaní sú stále aktuálne. Kritika kvôli ich finančnej náročnosti je spochybňovaná autormi (Baník, Halušková, Pavlendová, Haverlíková) publikujúcimi jednoduché a materiálne nenáročné experimenty. Nielen u nás, ale aj vo svete sa v súčasnosti diskutuje o vzdialených a simulovaných experimentoch, najmä v súvislosti s integrovaným e-learningom. Vzdialenému a simulovanému experimentu však chýba zapojenie viacerých zmyslov. S uspokojením teda môžeme konštatovať narastajúcu obľubu experimentov realizovaných svojpomocne vyhotovenými pomôckami. Jedná sa hlavne o jednoduché, názorné a z hľadiska prípravy i finančnej náročnosti, čo najdostupnejšie experimenty. Ako uvádza Pavlendová¹⁷, ak ich spojíme s výpočtom, študent/žiak si bezprostredne overí užitočnosť osvojovaných fyzikálnych alebo technických poznatkov a experiment a aj počítanie príkladov sa stane súčasťou je každodenného života. Takéto experimenty možno využiť na hodine, ale aj zadať

¹⁵ J.A. Komenský, *Analytická didaktika*, 1646, [online]. Dostupné na internete: <http://muj.optol.cz/~richterek/data/media/didaktika.html>

¹⁶ M. Abdulwahed, Z.K. Nagy, *The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model*, *Comput Educ.* 2011, 56 (2011), 262–274.

¹⁷ G. Pavlendová G., *Experimenty a príklady...*

ako domácu úlohu. Doma si experiment študent/žiak môže viackrát zopakovať a zamyslieť sa na tým, čo experiment dokazuje alebo aký funkčný proces modeluje. Takto získané vedomosti sú hlbšie, trvalejšie a poznávanie je zábavnejšie.

Zoznam bibliografických údajov

- Abdulwahed M., Nagy Z.K., *The TriLab, a novel ICT based triple access mode laboratory education model*, Comput Educ 56 (2011), s. 262–274, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2010.07.023>
- Baník I., *Jednoduchý experiment – materské mlieko školskej fyziky*, Zborník: Tvorivý učiteľ III., Národný festival fyziky 2010, Smolenice 4–7, máj 2010, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice.2010, s. 58–66, ISBN 978-80-969124-9-0.
- Blaško M., *Úvod do modernej didaktiky I. (Systém tvorivo-humanistickej výučby)* 2009, [online]. Dostupné na internete: <http://web.tuke.sk/kip/main.php?om=1300&res=low&menu=1310>.
- Bransford J.D., Brown A.L., Cocking R.R., *How people learn: brain, mind, experience, and school*, National Academy Press, Washington 2004.
- Clough M.P., *Using the laboratory to enhance student learning*. In Learning Science and Science of Learning, R.W. Bybee, Ed. National Science Teachers Association, Washington 2002.
- Halušková S., *Jednoduchý pokus – motivačný prvok na prednáške*, Zborník: Tvorivý učiteľ II., Národný festival fyziky 2009, Smolenice 19–22, apríl 2009, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice.2009, s. 44–47, ISBN 978-80-969124-8-3.
- Haverlíková V., Matejka M., *SCHOLA LUDUS: EXPERIMENTÁREŇ 2009 Papierová fyzika*, Bratislava: SCHOLA LUDUS, 2009. 68 s. ISBN 978-80-970379-0-1 dostupné tiež v elektronickej podobe na <http://www.scholaludus.sk>
- Hofstein A., Lunetta V.N., *The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century*. Laboratory of Science Education, 2004, 88(1), 28–54, DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/sci.10106>
- Kireš M., *Rozvíjanie experimentálnych zručností študentov gymnázia*, Zborník: Tvorivý učiteľ III., Národný festival fyziky 2010, Smolenice 4–7, máj 2010, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice.2010, s. 58–66, ISBN 978-80-969124-9-0.
- Kolektív autorov pod vedením Věry Petráčkovej a Jiřího Krausa, *Slovník cudzích slov*, prvé slovenské vydanie, 1997, Slovenské pedagogické nakladateľstvo
- Komenský J.A., 1646. *Analytická didaktika*, [online]. Dostupné na internete: <http://muj.op-tol.cz/~richterek/data/media/didaktika.html>
- Kozík T., *Aktuálne problémy technického vzdelávania, Medzinárodná konferencia „Strategie technického vzdelávania v reflexii doby“*, Ústí nad Labem 1–3 máj, 2011.
- Ožvoldová M., Schauer F., Lustig, F., *Integrovaný e-learning – nová metóda výučby demonštrovaná na príklade kmitov*. In: Zborník z konferencie Vzdelávanie v zrkadle doby. Nitra 2006: PF UKF.
- Pavlendová G., *Experimenty a príklady – dilemma alebo súčinnosť*, Zborník: Tvorivý učiteľ III., Národný festival fyziky 2010, Smolenice 4–7 máj 2010, SFS, Vyd. Equilibra, s.r.o., Košice 2010, s. 58–66, ISBN 978-80-969124-9-0.
- Škoda J., Doulík P., *Lesk a bída školního chemického experimentu*. In BÍLEK, M. (ed.) Výzkum, teorie a praxe v didaktice chemie XIX. Research, Theory and Practice in Chemistry Didactics XIX. 1. část: Původní výzkumné práce, teoretické a odborné studie, Hradec Králové: Gaudeamus 2009, s. 238–245, ISBN 978-80-7041-827-7.