

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra učitelství a didaktiky chemie

CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Science

Katedra učitelství a didaktiky chemie

Doktorský studijní program: Vzdělávání v chemii
Ph.D. study programme: Education in Chemistry

Autoreferát disertační práce
Summary of the Ph.D. Thesis



Inovace obsahu a metod výuky chemie se zaměřením na vizualizaci prostřednictvím informačních a komunikačních technologií

Innovations of Education Content and Methods in Teaching Chemistry Focusing on ICT-supported Visualization

PhDr. Martin Adamec

Školitel/supervisor: prof. RNDr. Pavel Beneš, CSc.

Praha 2012

Název: Inovace obsahu a metod výuky chemie se zaměřením na vizualizaci prostřednictvím informačních a komunikačních technologií

Abstrakt

Využití informačních a komunikačních technologií, včetně počítačové grafiky, ve výuce chemie představuje aktuální a frekventované téma současné didaktiky chemie. Důraz je v dosud publikovaných pracích kladen na znázornění struktury chemických látek a symbolický popis chemických dějů. Předkládaná práce nabízí komplexnější pohled na možnosti a meze využití počítačové grafiky i ostatních prostředků ICT. Cílem práce je na základě problémů, které identifikují studenti učitelství chemie a učitelé chemie jako aktuální, poskytnout přehled různých technologií, navrhnout jejich začlenění do výuky chemie a posoudit jejich úlohu v rámci probíhající kurikulární reformy. V rámci práce byla prověřena využitelnost vybraných prvků při přípravě výuky či přímo ve výuce, navrženy inovace stávajících výukových metod s využitím počítačové grafiky. Práce je zaměřena na oblast vizualizace učiva prostřednictvím počítačové grafiky, inovace výukových metod a obsahu s využitím počítače, počítačové hry a roli počítačové grafiky při didaktické transformaci.

Byly vytvořeny dvě učebnice pro základní a střední školy, ve kterých jsou využity nově navržené prvky počítačové grafiky. V chemii jako vědě neustále narůstá množství poznatků, proto byl vytvořen model žákům přístupné prezentace nových informací o kyselině uhličitě. Vzhledem k významu experimentu v chemii byl zpracován postup optimalizace nově navrhovaných školních chemických experimentů.

Klíčová slova:

výuka chemie, počítačová grafika, animace, učebnice, optimalizace, školní chemický experiment, informační a komunikační technologie

Title: Innovations of Education Content and Methods in Teaching Chemistry
Focusing on ICT-supported Visualization

Abstract

The use of information and communication technologies, including computer graphics, in teaching chemistry is one of the frequent issues of contemporary chemistry didactics. Current publications are mainly focused on displaying structure of chemical compounds and symbolic form of chemical reactions. This thesis offers a more complex view on the computer graphics and other means of information and communication technologies – their possibilities and limits of use in teaching. The goal of the thesis is to provide an overview of selected computer-graphics technologies and to discuss their role during current curricular reform, based on current problems identified by students attending chemistry-teacher training courses and chemistry teachers. Usability of selected elements in pre-teaching and teaching phases was checked. Innovations of contemporary teaching methods were proposed using computer graphics. The thesis is focused on the area of visualization of educational content with use of computer graphics, computer-assisted innovation of methods and educational content, computer games and the role of computer graphics in didactic transformation.

Two textbooks for lower-secondary and upper-secondary schools were created. These textbooks contain newly developed parts using computer graphics. According to everlasting expansion of gained information in chemistry, a model of pupil-friendly presentation of these was developed using carbonic acid as a subject of concern. For keeping chemical experiment's role in science at least at current level, a method for optimizing renewed school chemical experiments was developed.

Keywords:

chemistry teaching, computer graphics, animation, textbook, optimization, school chemical experiment, information and communication technology

Úvod

Vzdělávací systémy v Evropě, Českou republiku nevyjímaje, procházejí významnou reformou. Požadavky na změny se opírají o mezinárodní výzkumy TIMSS a PISA. Podle výsledků těchto výzkumů je výuka přírodovědných předmětů v České republice zaměřena na předávání hotových poznatků a žáci mají málo prostoru pro individuální práci a praktické činnosti. Vzdelávací obsah je převážně teoretický. Chemii považují žáci za nezáživnou, objevují se pochybnosti o její užitečnosti. Učitelé si často stěžují na přetěžování žáků při nutnosti dodržet kurikulární dokumenty, nejasnou strukturu učiva i na absenci aktuálních témat ve vzdělávacím obsahu.

Jedním z klíčových úkolů učitele při výuce chemie a jiných přírodních věd je vedení žáků a studentů k zájmu o zkoumání světa kolem nich. Jednou z možností, jak u žáků vyvolat zájem o zkoumání okolní reality, je provádění experimentů. Zkušenosti ukazují, že největší dopad mají ty z nich, které provádějí žáci sami. Bohužel, v současné době se projevuje ve využití reálného experimentu ve školní výuce značný pokles. Spolu se silným rozvojem ICT a jejich pronikání do běžného života i do školních praxí by mohlo dojít k postupnému nahrazování reálných experimentů experimenty reprodukoványými nebo simulovanými. Tento trend na jednu stranu umožňuje zpřístupnění problematiky chemie širší skupině zájemců, např. při distančním vzdělávání, na druhou stranu může vést k celkovému odklonu od rozvíjení manuální zručnosti žáků a snižuje motivační hodnotu vzorového experimentu. Častým důvodem, proč učitelé do výuky zařazují méně experimentů, je náročnost přípravy, proto je potřeba nabídnout způsoby, jak učitelkou přípravu zjednodušit či vylepšit.

Vzhledem ke komplexnosti chemie jako vědní disciplíny ovšem není možné výuku předmětu chemie omezit jen na experimentování jako takové. Existuje velká část vzdělávacího obsahu, kterou lze jen obtížně žákům přiblížit pomocí experimentu. Navíc je potřeba případné experimentální výsledky vždy uvést do celkového kontextu, aby pokusy nebyly prováděny jen pro pokusy samotné. Při výuce se pak kromě verbálního předávání informací velmi efektivně uplatňuje předávání informací ve vizuální podobě, protože chemie používá svůj vlastní symbolický jazyk – řeč vzorců – jehož zvládnutí je klíčové pro úspěšné chemické vzdělávání. I v této oblasti nabízejí současné informační a komunikační technologie značné možnosti, nicméně prostředků přímo použitelných ve výuce ještě zřejmě není dostatek, jak potvrzují četné projekty, které si kladou za cíl vytvářet nejrůznější elektronické výukové materiály a pomůcky.

Využitím počítačové grafiky ve výuce chemie se zabývá řada zahraničních i našich autorů, důraz je přitom kladen na znázornění struktury chemických látek a symbolický popis chemických dějů. Předkládaná práce se snaží poskytnout komplexnější pohled na možnosti a meze využití počítačové grafiky, od prostého nahrazení manuální práce při tisku přes použití jednotlivého multimediálního obsahu až k sofistikovaným učebním materiálům kombinujícím klasické prvky učebnic s interaktivními materiály.

Cíle práce

Cílem práce je identifikovat některé aktuální problémy při výuce chemie, jak je vnímají učitelé chemie i studenti učitelství chemie, na základě zjištěných problémů navrhnout možnosti jejich řešení se zaměřením na vybrané oblasti a ověřit možnost uplatnění nově navržených postupů ve školní praxi a v přípravě učitelů chemie.

Z nesčetných oblastí výuky včetně její přípravné fáze, do kterých použití počítačové grafiky proniká, byly po konzultaci se školitelem vybrány následující: vizualizace učiva prostřednictvím počítačové grafiky, inovace výukových metod a obsahu s využitím počítače, počítačové hry, role počítačové grafiky při didaktické transformaci.

Metodika

Pro získání vstupních dat byly použity metody kvalitativního výzkumu – ohniskové skupiny a strukturovaný rozhovor – na dvou vzorcích. První vzorek tvořili studenti učitelství chemie na Pedagogické fakultě univerzity Karlovy v Praze, druhý vzorek tvořili učitelé na základních a středních školách ve Středočeském kraji, kteří se účastnili kurzů celoživotního vzdělávání uskutečňovaných Pedagogickou fakultou Univerzity Karlovy v Praze.

Na základě informací získaných od účastníků výzkumu byly pro další zpracování vybrány problémové oblasti pro návrhy inovací prostřednictvím zapojení informačních a komunikačních technologií zejména s ohledem na vizuální stránku. Jednalo se o čtyři oblasti: vizualizace, výukové prostředky, didaktická transformace učiva, využití počítačových her při výuce.

Průběh a výsledky práce

Vizualizace

V oblasti vizualizace byly zkoumány možnosti zapojení prostředků ICT do výuky chemie. Důraz byl přitom kladen na ty, které jsou zaměřeny na zobrazování reálných objektů či jejich různě abstrahovaných podob (schémata aparatur, zápisy chemických reakcí, modely a vzorce sloučenin) a na ty, které umožňují zprostředkovat pochopení vztahů mezi chemickými veličinami pomocí jejich vizualizace. Prozkoumány byly editory chemických struktur a produkty společnosti Wolfram Research (Mathematica) s ohledem na jejich využitelnost při výuce. Pozornost byla věnována také ovladatelnosti jednotlivých aplikací při použití na interaktivní tabuli. Výsledky šetření jsou podloženy zkušenostmi při výuce předmětu ICT ve výuce chemie, který je součástí přípravy učitelů chemie na Pedagogické fakultě Univerzity Karlovy v Praze.

V průběhu práce byly dále vytvořeny animované pomůcky pro výklad názvosloví anorganických sloučenin, které byly zařazeny do učebnice chemie pro základní školy. Tato učebnice získala doložku MŠMT a byla vydána v roce 2006.

Jako rozvojový projekt FRVŠ byl Pedagogickou fakultou Univerzity Karlovy v Praze řešen v roce 2009 projekt *Podpora ICT v přípravě budoucích učitelů přírodovědných předmětů*. Na řešení projektu se podílely katedry matematiky a didaktiky matematiky, chemie a didaktiky chemie a biologie a ekologické výchovy. Cílem projektu bylo efektivně začlenit moderní prostředky ICT do přípravy budoucích učitelů. Výstupem z projektu byla publikace, která představuje některé (především méně obvyklé) technologie, které jsou nyní díky tomuto projektu na pedagogické fakultě využívány, a to, jak mohou být využity pro přípravu budoucích učitelů matematiky, biologie a chemie.

Inovace metod a prostředků výuky

Počítačová grafika se značnou měrou podílí na přípravě učitelů chemie na výuku i přímo při realizaci výuky. Učitel tvoří nebo používá výukové materiály, které obsahují prvky počítačové grafiky, využívá prezentace, promítá videonahrávky z počítače, či používá interaktivní učebnice. Volba metod výuky a částečně i obsahu je tak ovlivněna dostupností

materiálů (zakoupených školou, stažených z internetu) a samozřejmě také tím, co má učitel k dispozici za hardwarové prostředky (PC, projektor, interaktivní tabuli). V roce 2007 byla navržena inovovaná a zjednodušená metoda pro hodnocení učebnic, která byla publikována s cílem usnadnit učitelům výběr nových učebnic chemie s ohledem na probíhající školskou reformu.

V roce 2009 byla vytvořena učebnice chemie pro střední školy nechemického zaměření jako reakce na změny v obsahu vzdělávání. Nové rámcové programy totiž zavedly chemii ve vzdělávací oblasti Člověk a příroda i do těch typů škol, kde předtím nebyla. Při tvorbě učebnice byly použity prvky počítačové grafiky podporující aktivitu žáků: interaktivní testové úlohy, videosekvence a obrázky doprovázející výklad. Z hlediska obsahu bylo učivo rozděleno na základní úroveň (podle požadavků RVP pro střední školy s nižším rozsahem výuky chemie) a na úroveň vyšší. Základní úroveň učiva je přitom v tradiční, tištěné formě, rozšiřující učivo je pak obsaženo na přiloženém CD. Učebnice byla znovu vydána v roce 2010. V tomto aktualizovaném vydání získala doložku MŠMT.

Aby nebyla zanedbána experimentální povaha výuky chemie, byla v roce 2009 rozpracována metoda umožňující přizpůsobit některé z dostupných experimentů podle požadavků učitele na jejich průběh. Velkou oblastí chemie, ve které se prakticky průběh pokusu nedá předpovědět, takže je potřeba návod beze zbytku dodržet a dosáhnout tak již dosaženého výsledku, je reakční kinetika. Metoda byla proto zaměřena právě na tuto oblast.

Didaktická transformace s ohledem na školskou reformu

Počítačová grafika ovlivňuje i obsah vzdělávání. Takto vyvolané změny však nemohou být zcela nahodilé a měly by respektovat určité zákonitosti. Jedním z vnějších zdrojů takových pravidel jsou legislativní změny, které probíhají v rámci současné školské reformy. Se vznikem rámcových vzdělávacích programů a nutností vytvářet školní vzdělávací programy se učitelům, na které byla tato činnost delegována, naskýtá nebývalá svoboda ve volbě obsahu výuky chemie. S ohledem na výše uvedené, byly prozkoumány podmínky a možnosti úprav kurikula a začlenění nových poznatků do výuky chemie.

Součástí práce učitele chemie je, nebo by mělo být, neustálé sebevzdělávání. Chemie jako vědecká disciplína přináší neustále nové poznatky a postupem času i mění a dovytváří své teorie. Úspěšný učitel chemie nemůže tyto změny nechat bez povšimnutí, i když pochopitelně není možné všechny okamžitě zaregistrovat a zařadit do výuky. Přesto se čas od času objeví převratné informace, které stojí za povšimnutí, byť s určitým časovým zpožděním. Pokud k žádným aktualizacím ve výkladu chemie nedojde, snadno se může stát, že takováto chemie získá u žáků punc něčeho archaického, co se současným světem nijak nespojuje, a proto není potřeba se jí zabývat. V letech 2010 a 2011 byly publikovány stati o nových poznatcích o stabilitě a možnosti izolace kyseliny uhličitě, ve kterých bylo k vysvětlení uváděných jevů využita vizuální reprezentace struktury chemických látek a jejich reakcí.

Hra ve výuce jako motivační prvek

Pro učebnice vydané v letech 2007, 2008 a 2010 byly vytvořeny počítačové hry s chemickou tematikou. Tematika počítačových her se také stala nedílnou součástí přípravy učitelů chemie na Pedagogické fakultě Univerzity Karlovy v Praze v předmětu ICT ve výuce chemie.

Diskuze a závěr

Z dat získaných od účastníků výzkumu plyne, že se při výuce chemie setkávají s podobnými problémy, které uvádějí mezinárodní výzkumy TIMSS a PISA i obdobné výzkumy v České republice. Objevují se materiální problémy při realizaci školních pokusů, nízký stupeň využití aktivizujících metod výuky, nedostatek motivace žáků. Ve zvolených oblastech byly navrženy postupy, které by mohly přispět k eliminaci uvedených problémů.

Vizualizace

Na poli výuky chemie je akcentována vizualizace na úrovni modelů, které umožňují zobrazení jinak neviditelných objektů (atom, molekula, chemická vazba). V současné době je široce využíván volně dostupný software, který umožňuje ze vzorce sloučeniny vykreslit její trojrozměrný model s možností otáčení a zvětšování (např. ACD/ChemSketch), tyto modely jsou však přibližné a neumožňují zobrazení rozložení elektronové hustoty, která je důležitá pro pochopení reaktivity. Některé školy používají komerční software, který umožňuje výpočty elektronové hustoty z termodynamických dat (Spartan) a úspěšně zařazují do výuky modely vytvořené na míru probíranému učivu. Při výuce připravující učitele chemie byly prozkoumány možnosti využití běžně dostupného software pro kreslení chemických struktur ve výuce podporované použitím interaktivní tabule se závěrem, že užití stávajících editorů je problematické – ovládání není uzpůsobeno pro dotykové ovládání (vyžaduje značnou přesnost) a žádný z běžných editorů nepodporuje vzorce „školního typu“ (strukturní či racionální vzorce s vazbami zakreslenými kolmo na sebe). Nově byly prozkoumány vizuální materiály pro výuku chemie vytvořené v prostředí Mathematica společnosti Wolfram Research publikované na portálu Wolfram Demonstration Project a vyhledávač WolframAlpha. Prostředí Mathematica nabízí neustále se rozšiřující možnosti vyhledávání a prezentace chemických dat – od vzorců a základních fyzikálních dat až po manipulovatelné trojrozměrné modely a vizualizace modelů kvantové chemie. Využití obou produktů pro výuku chemie bylo demonstrováno v rámci Letní školy pro středoškolské učitele chemie.

Jako podpůrné vizuální prvky byly navrženy animace pro část obecné a anorganické chemie (názvosloví na úrovni ZŠ) jako součásti hybridní učebnice pro volitelný předmět na základní škole. Učebnice má tištěnou část obsahující výklad a je doplněna CD s elektronickou částí ve formě provázaných HTML dokumentů. V elektronické verzi jsou pomocí animací vysvětleny základní principy názvosloví anorganických sloučenin (oxidy, halogenidy, kyslíkaté kyseliny).

Inovace metod a prostředků výuky

V současnosti se na trhu vyskytuje obrovské množství učebnic chemie pro základní školu. Učitel je nucen mezi nimi vybírat a měl by být schopen svůj výběr obhájit, pokud možno na základě co nejobjektivnějších kritérií. Proto byl navržen účinný, a přesto jednoduchý, nástroj pro výběr jedné učebnice chemie z dostupné nabídky. Prostřednictvím brainstormingu studentů učitelství chemie a následného kritického zhodnocení byly vybrána kritéria, kterými se může učitel při výběru učebnice řídit. K vyhodnocení byla navržena semikvantitativní metoda založená na váženém průměru hodnocení podle jednotlivých kritérií. Součástí návrhu metody je také příklad implementace metody v prostředí tabulkového procesoru. Uvedená metoda byla publikována v časopise určeném pro učitele přírodovědných předmětů

Výuka učiva chemické povahy všeobecně vzdělávacího zaměření na SOŠ a SOU není v současné době buď realizována vůbec, nebo je součástí integrovaného vyučovacího předmětu Přírodověda, nebo se realizuje ve zvláštním vyučovacím předmětu. Podle nových rámcových vzdělávacích programů těchto škol, kde je posíleno všeobecné vzdělávání, je však

učivo chemické povahy (alespoň v rozsahu varianty B) závazné pro všechny typy těchto škol. Protože stávající učebnice neodpovídají nastávajícím změnám, byla vytvořena nová učebnice využívající zkušenosti z předchozí tvorby autorského kolektivu. Učebnice je opět koncipována jako hybridní – v tištěné části je obsažen výklad k učivu odpovídající RVP ve variantě B, na příloženém CD, které nově zachovává strukturu tištěné části, je umístěno rozšiřující učivo a doprovodný obrazový materiál. Text je dále obohacen o interaktivní testové úlohy (s možností zobrazení autorského řešení), záznamy vybraných chemických pokusů a dvě hry s chemickou tematikou. Nově byl zvolen kompaktní formát PDF, takže celá elektronická část učebnice je obsažena v jednom souboru.

Úloha experimentu ve výuce chemie je dostatečně známa, a přesto dochází k útlumu praktikování reálných experimentů ve škole. Někteří autoři jdou cestou videopokusů doplněných dalšími didaktickými náležitostmi. Tento přístup je výhodný zejména pro distanční formu výuky a umožňuje přestavit studentům pokusy, které by nebyly ve školních podmínkách realizovatelné (nedostupné látky, nebezpečný průběh reakce). Aby reálný pokus ze škol nevyrazil, byly v předkládané práci navrženy experimenty s běžně dostupnými látkami (a známé žákům z televizního pořadu PORT) upravené pro školní podmínky a postup, jakým je možné optimalizovat průběh experimentu podle úmyslu učitele (na příkladu optimalizace časového průběhu vybrané reakce). Upravené experimenty byly publikovány v časopise zaměřeném na výuku chemie na středních a základních školách a také prezentovány v rámci kurzů celoživotního vzdělávání pořádaných Pedagogickou fakultou Univerzity Karlovy v Praze

Didaktická transformace s ohledem na školskou reformu

V současné době probíhající kurikulární reforma zasáhla celou řadu učitelů, kteří na nový typ učebních dokumentů nejsou zvyklí a na jejich nově požadované spoluvytváření nebyli systematicky připravováni. Zároveň je vytvářen tlak ze strany veřejnosti na modernizaci vzdělávacího obsahu. S rozvojem informačních technologií a jejich masivním nasazením v běžném životě se zdá, že není možné se jejich použití ve výuce vyhnout. Zároveň narůstá počet nových poznatků v chemii a naskytá se tak problém, co nového do výuky zařadit a co už nikoli. Vzhledem k pomalé aktualizaci učebních textů narůstá riziko, že ve výuce zůstávají určité poznatky „zakořeněny“ a je téměř nemožné je aktualizovat. Jako příklad překonaného poznatku byla vybrána kyselina uhličitá jako „typická anorganická“ a „téměř neexistující“ sloučenina. Předkládaná práce upozorňuje na vztah této sloučeniny k obrovské skupině organických sloučenin, vyvrací tvrzení o její neizolovatelnosti, a ukazuje jejím prostřednictvím metodu zkoumání vlastností látek z vizuální reprezentace jejich struktury. Příspěvek k tématu byl publikován v časopise určeném učitelům chemie na základních a středních školách.

Hra ve výuce jako motivační prvek

Hra je používána ve výuce na všech stupních vzdělávání, i když ne vždy se jedná o hru v pravém smyslu (např. chybí dobrovolnost nebo nepřítomnost odměny). Počítačové hry s chemickou tematikou ve výuce příliš nevyužívají a absentují i v učebnicích chemie. Na internetu jsou dostupné hry, které by se daly označit jako chemické, u řady však chybí jakákoli didaktická hodnota, u některých dokonce nejde o chemii (i když jsou jako chemické deklarovány). Ve dvou učebnicích, které byly vytvořeny autorským kolektivem, jsou začleněny i počítačové hry s chemickou tematikou – obdoba hry Knihovník – pro procvičování tvorby vzorců jednoduchých anorganických sloučenin, hra na principu „patnáctky“ pro upevňování symboliky označující chemické látky a chemické pexeso pro ověření znalostí z názvosloví základních anorganických sloučenin. Hry byly vytvořeny

v prostředí Adobe Flash, které umožňuje plnou interaktivitu. Nově byla také zařazena tematika počítačových her zařazena do přípravy učitelů chemie v povinně volitelném předmětu, přičemž studenti hodnotí tuto metodu výuky jako vysoce motivující a po skončení kurzu jsou schopni aktivně vytvářet jednoduché hry v prostředí software pro prezentace na interaktivní tabuli.

Introduction

European education systems, including that one of the Czech Republic, are currently undergoing a serious reform. Required changes are based on the international research TIMSS and PISA. According to their conclusions, science education in the Czech Republic is mostly based on transferring knowledge instead of an individual work of pupils and practice. The educational content is mainly of a theoretical nature. Chemistry itself is considered boring (by pupils), doubts of its usefulness appear. Teachers are complaining about pupils being overloaded with knowledge required by current curricular documents, unclear structure of educational content and also an absence of current themes in educational content.

One of the key tasks of a science teacher is giving pupils and students the motivation to study the world around us. Experimenting makes possible to accomplish this task. It is known by experience, that the most efficient experiment is the one made by pupils themselves. However, nowadays our teaching practice shows great decrease in using real chemical experiments. With massive development of ICT and its influence on everyday life and thus on school environment there is a risk of replacing real experiments with the reproduced or simulated ones. This trend can be useful by making chemistry accessible to broader set of people (e.g. within distant learning). On the other hand, the lack of real experimenting can lead to underdevelopment of manual abilities of children. One of the reasons of using fewer experiments in chemistry classes is the difficulty of their preparation. It is therefore necessary to offer new ways to simplify pre-teaching phase or make it more efficient.

The complexity of current chemistry does not allow reducing teaching chemistry to mere experimenting. Great part of chemical educational content is of theoretical kind, which can be hardly presented in form of an experiment. And also every experiment has to be handled as a part of wider theoretical context, not to be done for experimenting itself. Visual representation of information during teaching makes an efficient way of transferring such information to students. Nonetheless, chemistry has its own symbolic language – the language of formulae. Mastering this language is necessary to success in chemical education. This area is also quite covered by current ICT but it seems that there is a certain lack of these materials as there is great number of projects concerning development of electronic learning support.

The use of computer graphics in teaching chemistry is discussed by a wide range of worldwide known authors. They mostly pay attention to displaying a structure of chemical compounds and/or describing chemical reactions symbolically. The thesis is trying to offer a more complex view to the use of computer graphics in teaching chemistry, showing its pros and cons ranging from merely replacing manual work in printing, over using isolated multimedia content to sophisticated textbooks that combine classical elements with interactive ones.

Aims

The aim of the thesis is to identify some of current problems in teaching chemistry, as they are experienced by chemistry teachers and students in teacher-training courses, to propose possible solutions of such problems focusing on selected subject areas and to verify their usability in school practice and teacher-training courses. The thesis focuses on the area of visualization of educational content with aid of computer graphics, computer-assisted innovation of methods and educational content, computer games and the role of computer graphics in didactic transformation.

Methods

Qualitative-research methods were used on two samples to obtain input data – focus groups and structured interview. First sample consisted of students attending teacher-training courses at the Charles University in Prague – Faculty of Education. The second sample contained secondary-school teachers who attended lifelong learning courses at the Charles University in Prague – Faculty of Education.

Based on the acquired data, four subject areas were selected for further processing. The innovative methods were proposed in following areas: visualization, educational resources, didactic transformation, and use of computer games in chemistry teaching.

Development of research work

Visualization

In the field of visualization the use of ICT in teaching chemistry was investigated, concerning those focused on displaying real object and/or respective abstract forms (schematics of instrumentation, chemical reactions, models and formula of chemical compounds). Also methods of visualizing relationship between chemical quantities using ICT were examined. Use of chemical structure editors and Wolfram Research products in teaching chemistry was discussed. One of the important objects of investigation was portability of computer applications to different interactive board models. The results are based on teaching experience in the course “ICT in teaching chemistry”, which makes part of chemistry-teacher training at Charles University in Prague – Faculty of education.

During the progress of work animated objects for teaching inorganic nomenclature were created. These animations were used in a textbook for lower-secondary schools. The book was approved by ministry of education and published in 2006.

Project *ICT Support of science-teacher training* was held by Charles University in Prague – Faculty of Education in 2009. Department of mathematics and mathematics didactics, department of chemistry and chemistry didactics and department of biology and environmental education were involved. The goal of the project was the efficient use of modern ICT in teacher-training courses. The resulting publication presents some less common technologies, which are nowadays used at Faculty of Education.

Method and instrument innovations

Computer graphics is greatly involved in both chemistry-teacher training and teaching chemistry itself. The teacher creates or uses materials based on computer graphics, he or she uses presentations, plays videos on a computer or uses interactive textbooks. His or her choice is therefore influenced by accessibility of such materials (bought by the school or downloaded from the internet) and of course by the hardware that is available to the teacher (PC, projector, interactive board). In 2007 an innovated and simplified method of choosing a textbook was published to make the choice for the teacher easier.

To preserve the experimental part of teaching chemistry, a method of adapting available experiments for teacher's needs was developed in 2009. Chemical kinetics is the area of chemistry in which is practically impossible to predict experiment's process, thus implying need of sticking to the experiment's procedure step by step. Therefore the method is focused on the area of chemical kinetics.

Didactic transformation influenced by curricular reform

Computer graphics also affects the educational content. However such changes must not be accidental and they should obey certain rules. Legislation changes within current curricular reform belong to the sources of these rules. With the Framework education programmes and the need of creating School education programmes the teachers were given unseen freedom in choosing education content. Therefore the possibilities of chemical curriculum changes and implementing new findings into teaching chemistry were examined.

Perpetual learning is (or at least should be) an integral part of teacher's practice. Chemistry provides us with new findings every day and according to them also improves its theories. A successful teacher cannot miss these changes; however they cannot be all immediately registered by him or her and implemented into educational content. Nonetheless, from time to time there is some revolutionary information which should not be ignored. If there were no such updates, chemistry as a school subject would become archaic with no connection to the real world and thus not worthy to learn. The papers containing new findings about stability and isolation of carbonic acid, which used visual representation of the structure chemical compounds and chemical reaction, were published in 2010 and 2011.

Game as a motivation element in teaching chemistry

Chemistry-themed computer games were created to be included in textbooks published in 2007, 2008 and 2010. The issue of computer games also became integral part of selected teacher-training courses at Charles University in Prague – Faculty of Education.

Discussion and conclusions

The data acquired from research participants show that the students and teachers experience similar problems as those uncovered by TIMSS a PISA assessments or by local research performed in the Czech Republic. Lack of material to support school chemical experiments, lower degree of use of activating teaching methods and lack of motivation of pupils appear as the most discussed problems. Procedures to reduce such problems were proposed in selected subject areas.

Visualization

In teaching chemistry the visualisation on the model level is accented. This allows displaying invisible objects (an atom, a molecule, a chemical bond). Nowadays a freeware which allows rendering scalable and rotatable 3D-model from a chemical formula is widely used (e.g. ACD/ChemSketch). Such models are however inaccurate and do not allow displaying electron density distribution, which is important for understanding compound's reactivity. Several schools are using commercially available software that is able to compute electron density from thermodynamic data (Spartan). They also successfully use models created this way in their teaching. The possibilities of using widely available software for drawing chemical structures were investigated during chemistry-teacher-training courses focused on interactive board use. The result is that most common software is hard to use – their controls are not touch-enabled (they require accuracy which cannot be achieved). None of common editors supports “school-like” formulae (structural formula with perpendicular bonds). Search engine WolframAlpha and visual materials created in Mathematica environment (both by Wolfram Research) were also examined. They are widely published on Wolfram Demonstration Project website and are completely new. The Mathematica offers growing range of searching and presenting chemical data – from formulae and basic physical

properties to scalable and rotatable 3D-models and visualization of quantum chemistry models. Usage of both products was presented during Summer school for chemistry teachers.

Several animated objects were created as supporting elements for the general and inorganic chemistry parts of hybrid textbook for a voluntary subject in lower-secondary schools. The textbook consists of a printed book containing main text and a CD with electronic part made of linked HTML documents. The electronic textbook is using animations to illustrate basic principles of inorganic nomenclature (oxides, halogenides, oxyacids).

Method and instrument innovations

Contemporary market offers huge number of chemistry textbooks for lower-secondary schools. The teacher has to choose between them and he or she should be able to defend their choice using most objective criteria they can. Therefore an efficient but simple method of choosing a chemistry textbook was developed. The proposed criteria are based on brainstorming method preformed by students – future chemistry teachers. Such criteria were discussed and restricted to the final set. A semiquantitative method based on different criteria weights was proposed to be used by teachers. An example of implementation in a spreadsheet is included.

Chemistry is nowadays seldom taught on Vocational schools or it makes part of an integrated science subject. However a share of chemistry is slightly increased in the new framework educational programmes valid for these schools and teaching chemistry is newly mandatory for them. Because currently used textbooks did not reflect this change a new one, which does so, was created. The textbook is “hybrid” – it contains classical printed book covering the mandatory range of chemical educational content (alternative B) and a CD which is filled with extended text and images. Electronic text is enriched with interactive tests (including solutions), videos of selected chemical experiments and two chemistry-themed computer games. The whole electronic book is made of a single PDF file.

The role of an experiment in teaching chemistry is widely known but there is still a certain decrease of practicing real experiments in schools. Some authors choose the way of video-experiments with added didactic context. This attitude is especially appropriate for distant education and it also makes some experiments, which use rare chemicals or which are dangerous to be performed in schools, available. In effort to preserve real experimenting in schools the thesis proposed experiments (also known by pupils from TV series PORT) with commonly available chemicals. These experiments were adopted for school environment. Also a method for optimizing selected type of chemical experiments was developed and shown by a sample time-optimized reaction. The experiments were published in a journal concerning chemistry teaching at secondary schools and also presented during lifelong learning courses at the Charles University in Prague – Faculty of Education.

Didactic transformation influenced by curricular reform

Current curricular reform has influenced most of the teachers as they are not used to the newly created curricular documents and they were not prepared for the actions they are now obliged to do. Meanwhile the society generates more pressure on schools to modernize the educational content. Along with raising influence of ICT on our everyday life it seem quite impossible to avoid it in school practice. Also chemistry is a source of a great number of new findings and teachers must deal with a problem of choosing the ones which they implement in teaching. Because of rather slow updates of textbooks there is a risk of creating some “constant” knowledge, which is therefore difficult do update. Information about “instability” and “inorganic nature” of carbonic acid presented in school is an example of such knowledge.

The thesis draws attention to the connection of this compound to vast range of organic compounds, brings a proof of its stability and uses it to demonstrate a method of deriving properties of a compound from its visual representation. A paper concerning this subject was published in a journal dedicated to secondary-school chemistry teachers.

Game as a motivation element in teaching chemistry

A game is widely used on all levels of education, even though it is not always a real game (e.g. it is not voluntary or a reward is offered). Chemistry-themed computer games however are quite rare and they are not contained in most chemistry textbooks. The internet makes some “chemical” games available but they lack a didactic context or are not even about chemistry. In textbooks created during progress of this thesis there were included several computer games dealing with chemistry. The first one is a game based on the game “Knihovník” for practicing inorganic nomenclature. The second one is a shifting puzzle intended to practice the meaning of symbols for labelling chemical compounds. And the last one is a matching game with pair made of names and formulae of simple inorganic compounds. These games were created using Adobe Flash thus enabling full interactivity. As a new theme computer games were included into one of the elective courses in chemistry-teacher training. Students appreciate this method of teaching and they are able to create their own chemistry-themed games for interactive boards after they attend the course.

Životopis

Narození

- datum 3. 7. 1979
- místo Ostrov, okres Karlovy Vary

Vzdělání

- období 1990–1997
- instituce První české gymnázium v Karlových Varech

- období 1997–2000
- instituce Univerzita Karlova v Praze – Matematicko-fyzikální fakulta
- obor Informatika – magisterské studium (nedokončeno)

- období 2000–2006
- instituce Univerzita Karlova v Praze – Pedagogická fakulta
- obor Učitelství chemie a matematiky pro SŠ a ZŠ
- titul Mgr.

- období 2006
- instituce Univerzita Karlova v Praze – Pedagogická fakulta
- obor Učitelství chemie pro SŠ a ZŠ – rigorózní řízení
- titul PhDr.

- období 2006–dosud
- instituce Univerzita Karlova v Praze – Přírodovědecká fakulta
- obor Vzdělávání v chemii – doktorské studium

Pracovní zkušenosti

- období 2001–dosud
- zaměstnavatel OSVČ
- náplň práce Poradenství v oblasti ICT, grafické práce

- období 2004–2008
- zaměstnavatel Univerzita Karlova v Praze – Pedagogická fakulta
- prac. pozice asistent na Katedře chemie a didaktiky chemie

- období 2008–dosud
- zaměstnavatel Univerzita Karlova v Praze – Pedagogická fakulta
- prac. pozice odb. asistent na Katedře chemie a didaktiky chemie
- funkce tajemník katedry (2007–2009)
zástupce vedoucího katedry (2007–dosud)
člen akademického senátu PedF (2008–dosud)
fakultní správce SIS (2008–dosud)

Publikační činnost

1. ADAMEC, M.; BENEŠ, P.; KOTOUČOVÁ, H.; LIŠKA, F. Kvalitativní předpověď relativní síly oxokyselin z jejich souhrnných vzorců. *Biologie, chemie, zeměpis*. 2011, roč. 20, č. 2, s. 78–83 ISSN 1210-3349.
2. ADAMEC, M. *Proč se nebát chemie? : příručka k projektu Alma Mater Studiorum*. Praha : UK v Praze – PedF, 2010. 52 s. ISBN 978-80-7290-454-9.
3. PUMPR, V., ADAMEC, M., BENEŠ, P.; SCHEUEROVÁ, V.: *Základy přírodovědného vzdělávání : Chemie pro SOŠ a SOU*. 2., upr. vyd. Praha : Fortuna, 2010. 48 s., 1 CD-ROM. ISBN 978-80-7373-081-9.
4. ADAMEC, M.; JANČAŘÍK, A. *Svět potravin a kouzlo biotechnologií : 24. letní škola VŠCHT Praha*. 1. vyd. Ostrava : KEY Publishing, 2010. Využití nástrojů společnosti Wolfram Research, Inc., ve výuce chemie, s. 116. ISBN 978-80-7418-069-9.
5. ADAMEC, M.; BENEŠ, P.; KOTOUČOVÁ, H.; LIŠKA, F. Jak silná a stabilní je kyselina uhličitá. In . *Chemické listy 6/2010 : 62. sjezd českých a slovenských asociací chemických společností : sborník abstrakt*. Praha : Česká chemická společnost, 2010. s. 546. ISSN 1213-7103.
6. ADAMEC, M. Aplikace sekvenční metody optimalizace na edukační chemický experiment. In *Metodologické otázky výzkumu v didaktice chemie : Mezinárodní seminář doktorského studia – sborník příspěvků*. Hradec Králové : Univerzita Hradec Králové – PedF, 2009.
7. ADAMEC, M., BENEŠ, P. School chemical experiment optimization in Wolfram Mathematica environment. *Problems of Education in the 21th Century*. 2009, vol. 11, s. 9–13. ISSN 1822-7864.
8. ADAMEC, M.; BENEŠ, P.. Hry na interaktivní tabuli ve výuce chemie. [Games on an interactive whiteboard in chemical education.] In *Výzkum, teorie a praxe v didaktice chemie/Research, Theory and Practice in Chemistry Didactics XIX.*. Hradec Králové : Gaudeamus, 2009. s. 215–220. ISBN 978-80-7041-839-0.
9. ADAMEC, M., JANČAŘÍK, A., JANČAŘÍKOVÁ, K., STEHLÍKOVÁ, N. Podpora ICT v přípravě budoucích učitelů. *Aplimat 2009*. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2009. s. 637–643. ISBN 978-80-89313-31-0.
10. ADAMEC, M., BENEŠ, P., PUMPR, V. Chemie pro opomíjenou skupinu žáků. In NESMĚRÁK, K. *Current Trends in Chemical Curricula : Proceedings of the International Conference, Prague, 24–26 September 2008*. 1st edition. Prague : Charles University in Prague, Faculty of Science, 2008. s. 39–42. ISBN 978-80-86561-60-80.
11. PUMPR, V., ADAMEC, M., BENEŠ, P.; SCHEUEROVÁ, V.: *Základy přírodovědného vzdělávání : Chemie pro SOŠ a SOU*. 1. vyd. Praha : Fortuna, 2008. 48 s., 1 CD-ROM. ISBN 978-80-7373-030-7.

12. JANOUŠKOVÁ, S., ADAMEC, M. Stanovení pH půd. [online]. Praha: VÚP, 2008. [cit. 2008-09-01] Dostupné na WWW <<http://www.rvp.cz/clanek/2557>>.
13. ADAMEC, M., PUMPR, V. K využití pokusu ve výuce chemie v základním vzdělávání. Biologie, chemie, zeměpis. Praha, SPN, 2008. č. 4. s. 134–138. ISSN 1210-3349.
14. JANOUŠKOVÁ, S., ADAMEC, M., PUMPR, V. Projekt „Ekogramotnost“ jako východisko pro environmentální výchovu ve výuce chemie v základním vzdělávání. In CÍDLOVÁ, H., ŠIBOR, J. *Příprava učitelů chemie na environmentální výchovu a výchovu k trvale udržitelnému rozvoji*. Brno : Masarykova univerzita, 2007. s. 48–51. ISBN 978-80-210-5404-0.
15. RAMBOUSEK, V., BENEŠ P., ADAMEC, M. Education Reality In Conditions of Developing Information Society. In *Problems of Education in the 21st Century*. 2007, vol. 2, s. 67–72. ISSN 1822-7864.
16. FRÝZKOVÁ, M.; ADAMEC, M. Approach to implementation of science curriculum, with a special view to chemistry. In *Proceedings of the 2nd European Variety in Chemistry Education*. Prague : Charles University – Faculty of Science, 2007. s. 267–271. ISBN 978-80-86561-85-1.
17. ADAMEC, M., PUMPR, V., DYTRICHOVÁ, J. *Výběr učebnice - snadno a rychle?* Biologie, Chemie, Zeměpis 3/2007, s.146-150. ISSN 1210-3349.
18. PUMPR, V. aj. *Běžně prodávané látky, nebezpečné látky a nebezpečný průběh reakcí, chemie a běžný život občana* [online] Praha : CERMAT, 2007. [cit. 2007-09-26] Dostupné na WWW <<http://www.esf-kvalita1.cz/testy/CH1ACZEZO6DT.pdf>>
19. JANOUŠKOVÁ, S., ADAMEC, M. Nejstarší fotografický papír. [online]. Praha: VÚP, 2007. [cit. 2007-09-01] Dostupné na WWW <<http://www.rvp.cz/clanek/6/1110>>.
20. BENEŠ, P., PUMPR, V, ADAMEC, M. JANOUŠKOVÁ, S.. *Základy chemie : Klíč k úspěšnému studiu*. 1. vyd. Praha : Fortuna, 2006. 55 s., CD-ROM. ISBN 80-7168-983-1.
21. ADAMEC, M. *Komponenty VCL pro vektorovou grafiku ve výuce chemie*. Praha : Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, 2006, diplomová práce
22. PUMPR, V.; BENEŠ, P.; ADAMEC, M.; ČERNOCH, V. *K projektovému vyučování v chemii na ZŠ – 3. texty pro pedagogický experiment*. 1. vyd., Praha : Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, 2004, 40 s. ISBN 80-7290-176-1, monografie
23. CIHELNÍK, S.; ADAMEC, M. *PC řízený mikrovlnný reaktor pro účely organické syntézy*. Praha : Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, 2004, grant FRVŠ 2709/03

Vybrané použité zdroje / Selected references

1. ABRAMENKOVA, G. Introduction Of the Research Methods In Teaching of Chemistry. *Problems of Education in the 21st Century*, 2007, 1. ISSN 1822-7864.
2. Australian Council of Deans of Education. *New Teaching, New Learning: A Vision for Australian Education*. Australia 2004.
3. BANÝR, J.; BENEŠ, P.; PUMPR, V. *Chemie pro střední školy*. Praha : SPN, 2001. ISBN 80-85937-46-8.
4. BELL, D. *The social framework of the information society*. New Yourd : Tom Ferester, 1980.
5. BENEŠ, P. *Reálné modelové experimenty ve výuce chemie*. Praha : Univerzita Karlova v Praze, Pedagogická fakulta, 1999.
6. BENEŠ, P.; KUKAL, J. Optimalizace experimentu školním mikropočítačem. *Přír. Vědy Šk. 41, č. 10*, 1990.
7. BÍLEK, M.a.k. *Vybrané aspekty vizualizace učiva přírodovědných předmětů. Obrazový materiál – možnosti a meze jeho využití ve výuce (chemie)*. Hradec Králové : Miloš Vognar – M & V, 2007. ISBN 80-86771-21-0.
8. BÖHMOVÁ, H.; ŠULCOVÁ, R. Chemistry Experiment In Distance Education. *Problems of Education in the 21st Century*, 2007, 2. ISSN 1822-7864.
9. CAILLOIS, R. *Hry a lidé*. Praha : Nakladatelství studia Ypsilon, 1998. ISBN 80-902482-2-5.
10. ČERVINKA, O.; DĚDEK, V.; FERLES, M. *Organická chemie*. Praha : SNTL, 1969.
11. DANIEL, J. Using ICT for Quality Teaching, Learning and Effective Management. In *Report of the 7th UNESCO-APEID International Conference on*. Bangkok : UNESCO, 2003.
12. DOMAN, R.J. Auditory and Visual Digit Spans. *Learning How You Learn series: Processing Information*, 1986.
13. DOWNES, S. E-learning 2.0. Education and Technology in Perceptive. [online] *eLearning*. 2005 [cit. 2007-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.elearnmag.org/subpage.cfm?section=articles&article=29-1>>
14. EURYDICE. *Key competencies. A developing concept in general compulsory. Survey 5*. 2002.
15. FRÝZKOVÁ, M.; PUMPR, V. K využití úloh ve výuce chemie v základním vzdělávání. *Biologie, chemie, zeměpis*, 2008, č. 2. ISSN 1210-3349.
16. GUNDA, T.E. Chemical Drawing Programs Review. [online] 2008 [cit. 2009-10-06]. Dostupné z WWW: <<http://dragon.klte.hu/~gundat/rajzprogramok/dprog.html>>

17. HOLADA, K. *Specifické činnosti učitele chemie a jeho žáků*. Praha : Uk v Praze – PedF, 2005.
18. HOUŠKA, T. *Škola je hra*. Praha : Tomáš Houška, 1993. ISBN 80-900704-9-3.
19. HRABÍ, L. Hodnocení obtížnosti výkladového textu učebnic přírodopisu pro 8. ročník ZŠ. [online] *e-Pedagogium*. 2002 [cit. 2007-10-02]. Dostupné z WWW: <>
20. KOLÁŘ, K.; MYŠKA, K.; DOLEŽAL, R.; MAREK, M. *Počítačové modely ve výuce chemie*. Hradec Králové : Gaudeamus, 2006. ISBN 80-7041-991-1.
21. KUBIATKO, M. Information And Computer Literacy of High School Students. *Problems of Education in the 21st Century*, 2007, 2. ISSN 1822-7864.
22. MACEK, Z. Obraz jako didaktický prostředek. *Pedagogika*, 1984, roč. 34, č. 4. ISSN 3330-3815.
23. MAJUMDAR, S. *Integrating ICT in Teaching & Learning: A Functional Approach Presented at the UNESCO-APEID*. Thailand : UNESCO, 2004.
24. MAŇÁK, J.; ŠVEC, V. *Výukové metody*. Brno : Paido, 2003.
25. MCMURRY, J. *Organická chemie*. Praha : VŠCHT, 2007. ISBN 978-80-7080-637-1.
26. MYŠKA, K.; KOLÁŘ, K.; MAREK, M. *Vzorce, modely a počítačová grafika ve výuce chemie*. Hradec Králové : Gaudeamus, 2006. ISBN 80-7041-979-2.
27. NAKONEČNÝ, M. *Encyklopedie obecné psychologie*. Praha : Academia, 2002. ISBN 80-200-0625-7.
28. PALEČKOVÁ, J.; TOMÁŠEK, V. *Učení pro zítřek : Výsledky výzkumu OECD PISA 2003*. Praha : Ústav pro informace ve vzdělávání, 2005.
29. PETTY, G. *Moderní vyučování*. 4th Praha : Portál, 2006. 978-80-7367-427-4.
30. PIVEC, P. Does Game-Based Learning Exist or is it Merely Game-Based Teaching? In *Proceedings of the European Conference on Games Based Learning*. Academic Conferences, 2009. 318–324.
31. PLUSKAL, M. *Teorie tvorby učebnic a metody jejich hodnocení*. Olomouc : Pedagogická fakulta UPOL, 1996. Dostupné z WWW: <Habilitační práce>
32. PRENSKY, M. Digital Natives, Digital Immigrants. [online] *On the Horizon*. 2001 [cit. 2007-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.marcprensky.com/writing>>
33. PRŮCHA, J. *Hodnocení obtížnosti učebnic*. Praha : SNTL, 1984.
34. PUMPR, V.; BENEŠ, P.; FRÝZKOVÁ, M.; JANOUŠKOVÁ, S. *Environmentální*
35. PÝCHOVÁ, I. K funkci vizuálií v rozvoji osobnosti žáka. *Pedagogika*, 1992, roč. 40, č. 6. ISSN 3330-3815.

36. ROTH, K.J.e.a. *Teaching Science in Five Countries : Results from the TIMSS 1999 Video Study : Statistical Analysis Report*. 1st Washington : U.S. Government Printing Office, 2006.
37. SKALKOVÁ, J. *Obecná didaktika*. Praha : ISV, 1999. ISBN 80-85866-33-1.
38. SPOUSTA, V. *Vizualizace. Gnostický a komunikační prostředek edukologických fenoménů*. Brno : Masarykova univerzita. Pedagogická fakulta, 2007. ISBN 978-80-210-44203.
39. ŠVARCOVÁ, I. *Základy pedagogiky*. Praha : VŠCHT, 2005. ISBN 80-7080-573-0.
40. TRTÍLEK, J.; HOFMANN, V.; BOROVIČKA, J. *Školní chemické pokusy*. Praha : SPN, 1973.
41. UNESCO. *Information and Communication Technology in Education: A Curriculum*. Paris : UNESCO, 2004.
42. VÁGNEROVÁ, M. *Základy psychologie*. Praha : Karolinum, 2004. ISBN 80-7178-802-3.
43. VAŠUTOVÁ, J. aj. *Kapitoly z pedagogiky*. Praha : UK v Praze, PedF, 1998. ISBN 80-86039-54-4.
44. VÚP v Praze. *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Praha : VÚP v Praze, 2007. ISBN 978-80-87000-11-3.
45. VÚP v Praze. *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. Praha : VÚP v Praze, 2007.
46. VYGOTSKYJ, L.S. *Myšlení a řeč*. Praha : SPN, 1975.
47. Wolfram Demonstration Project. [online] [2010] [cit. 2010-02-02]. Dostupné z WWW: <<http://demonstrations.wolfram.com/>>
48. Wolfram Research. Wolfram Mathematica Documentation Center. [online] [2010] [cit. 2010-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://reference.wolfram.com/mathematica/guide/ScientificAndTechnicalData.html>>
49. ZINČENKO, V.P.; VERGILES, N.J. *Utváření vizuálního obrazu*. Praha : Academia, 1975.
50. ZUJEV, D.D. *Ako tvorit učebnice*. Bratislava : SPN, 1986.