

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Katedra učitelství a didaktiky chemie

Studijní program: Didaktika chemie

Studijní obor: 4XDCH



Mgr. Luděk Míka

Moderní pomůcky ve výuce chemie
Modern teaching aids in chemistry education

Disertační práce

Školitel: RNDr. Petr Šmejkal, Ph.D.

Praha, 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 10. července 2017

ABSTRAKT

Ani vynikající učitel chemie, či jakéhokoliv jiného přírodovědně zaměřeného předmětu, nemůže svou výuku založit pouze na samotném výkladu. Je velmi žádoucí výuku doplňovat množstvím výukových pomůcek, ať už reálných nebo virtuálních, které lépe a názorněji demonstrují aspekty vyučovaného tématu, zejména s ohledem na abstraktní partie probíraného učiva. Dále je nezbytné výuku přírodních věd doplňovat demonstracemi vyučovaných jevů, ať už různými analogiemi až po reálné experimenty. Bohužel, vzhledem k omezeným možnostem škol je dostupnost řady pomůcek velmi omezená, stejně tak realizace laboratorních cvičení, které dále komplikují omezení spojená s bezpečností práce a uchováváním chemikálií. Přitom vhodně podaný experiment je mnohdy klíčový nejen pro pochopení dané chemické problematiky, ale může mít i motivační a z toho vyplývající formativní charakter pro daného žáka. Žák získává při laboratorní činnosti a správném využívání vhodných a názorných pomůcek nezkreslené postoje a názory, což je důležité nejen pro jeho osobní rozvoj, ale také pro společnost, jejíž je součástí. Podpora realizace experimentu ve školách při současném využívání kvalitních a názorných pomůcek je tak pro výuku přírodních věd kruciólní. Mezi tyto výukové pomůcky pro výuku chemie ale nemusí patřit jen fyzické výukové modely, které se ve výuce chemie nejčastěji využívají. Např. i řada reálných experimentů není dostatečně názorná, třeba i proto, že tyto experimenty probíhají příliš rychle, nebo pomalu a nebo v příliš malém množství a důležité aspekty těchto experimentů pak nejsou viditelné. Je tedy třeba hledat, koncipovat a vytvářet takové pomůcky (např. videozáznamy, s nimiž lze pracovat), které budou tyto aspekty vizualizovat. Bohužel, kvalitních výukových pomůcek je v českých školách obecně nedostatek a tvorba vhodných a kvalitních výukových pomůcek, ať už virtuálních nebo (fyzicky) reálných, je tak nadmíru žádoucí.

S ohledem na řečené se práce zaměřila na tvorbu nových pomůcek pro výuku chemie. Prvním typem byly virtuální pomůcky ve formě digitalizovaných experimentů, pro něž byla jednotlícím prvkem periodická soustava prvků, přičemž k asi 40 vybraným nejvýznamnějším prvkům periodické soustavy prvků bylo vytvořeno krátké didaktické video, mj. s využitím speciálních filmařských technik (rychlloběžná kamera, časosběr, makro) tak, aby videozáznamy demonstrovaly jinak neviditelné či nezřetelné, ale důležité, aspekty daného experimentu a zároveň byly zajímavé a adekvátně kvalitní a didakticky názorné. V další části se práce zaměřila na prozkoumání možností využití tzv. aditivní výroby, konkrétně 3D tisku, pro tvorbu pomůcek pro výuku chemie. V rámci této práce byly navrženy způsoby využití 3D tiskáren pro tvorbu různých modelů pro výuku chemie, popsány obecné postupy tvorby některých pomůcek jako jsou modely molekul, 3D periodické tabulky nebo modely atomových orbitalů. Tyto modely byly publikovány na internetu v rámci databáze zaměřující se na distribuce modelů pro 3D tisk, kde si našly početnou skupinu svých příznivců, kterými byly hodnoceny pozitivně.

Evaluace vytvořených videí chemických experimentů prostřednictvím prezentace vybraných videozáznamů v hodině chemie a statistického vyhodnocení provedeného dotazníkového

šetření ukázala, že prezentované videozáznamy žáky zaujaly, prezentace i videa samotná byla hodnocena velmi pozitivně a bylo prokázáno zvýšení motivace žáků po sledování vybraných videozáznamů pořízených v rámci práce.

Výsledky práce tedy naznačují, že oba typy v rámci práce vytvořených pomůcek, videa i 3D modely vytvořené pomocí 3D tisku, mohou být velmi užitečnými pomocníky ve výuce chemie na všech typech škol.

KLÍČOVÁ SLOVA

videoexperiment, vzdělávání v chemii, natáčení chemických experimentů, speciální filmářské techniky, učební pomůcka, 3D tisk

ABSTRACT:

Even an excellent chemistry (or science) teacher cannot teach the subject by oral lectures only. It is highly desirable to support the teaching process using suitable teaching aids, whether real or virtual, which better and more clearly demonstrate the aspects of the subject to be taught, especially with regard to the conceptual parts of the curriculum. It is also necessary to supplement the teaching of science subjects with demonstrations of the taught themes and/or phenomena, from various analogies to the real experiments. Unfortunately, due to the limited possibilities of schools, the availability of the teaching aids is very limited. In addition to that, the implementation of laboratory courses is further complicated by obstacles associated with safety issues and/or rules of storage of chemicals. However, the appropriately presented experiment is often crucial not only for the understanding of the given chemical problem, but may also possess the motivational and formative character for the pupils. The pupils acquire non-distorted attitudes and opinions during the (proper) laboratory work and/or appropriate employment of illustrative teaching aids, which is important not only for his personal development but also for the society, he is part of. Support of the implementation of the experimental activities in schools and appropriate utilization of suitable and illustrative teaching aids is therefore crucial for education in the field of science subjects as well as chemistry. These teaching aids for chemistry education may not only include physical learning models that are most commonly used in chemistry education. For example, many real experiments are not sufficiently illustrative as these experiments are taking place too quickly or slowly or they are just too small and important aspects of these experiments are not visible. In such situations, virtual teaching aids in forms of videos, simulations or animations can be helpful to support the teaching process. It is therefore necessary to research, design and create such tools to visualize originally invisible aspects of the experiments. Unfortunately, high quality teaching aids are generally deficient in Czech schools, hence, creation of suitable and high quality illustrative teaching aids, whether virtual or (physically) real, is necessary.

Based on necessity and lack of teaching aids (real as well as virtual), the Ph.D. theses were focused on design, production and testing of new, modern and illustrative teaching aids for chemistry education. The first type of such aids were virtual aids in the form of digitized experiments (video records of chemistry experiments). With respect to that, the records of most interesting experiments of ca 40 basic chemistry elements were made and published. The records demonstrate otherwise invisible or obscure, but important, aspects of the experiments which are not usually observable doing real experiments. The records were made using "special" filmmaking techniques (high speed camera, time-lapse, macro) and are made with respect to achieve the best technical quality as possible according to used equipment. The Ph.D. thesis also discusses the aspects of employment of the "special" filmmaking techniques for production of records of chemistry experiments and best experience to prepare the educational and illustrative records. Using the videos, a new webpage focused on selected properties and characteristics of the selected elements of periodic system of elements (PSE) has

been made, as the records of chemistry experiments are integral part of information related to the elements in PSE. The elements are presented in the form of PSE (long version) which acts as unifying element of the webpage.

In the second part, the Ph.D. thesis deal with exploration of the possibilities of utilization of additive manufacturing, in particular of 3D printing, for a production of illustrative teaching aids for chemistry education. In the framework of these Ph.D. thesis, ways and general procedures for production of various models by 3D printing were tested and discussed. The procedures consist of all the steps of the process, hence, design of 3D model and its treatment for 3D printing, refinement of printing parameters and printing of physical models and their post-processing. With respect to this part, 3D models of 3D periodic tables, atomic orbitals, various proteins and functional parts of some devices were designed, printed and tested. These models were published on the Internet as part of the 3D distribution database thingiverse.com, where they found a large group of their supporters and were rated positively by their respective users.

Evaluation of produced records of chemical experiments through statistical analysis of questionnaire research showed that the pupils participating the research indicated very positive attitudes and opinions to the presented videos (the evaluation of overall satisfaction showed a value of median as 6 on the 7 point Lickert scale). The results also showed increase the intrinsic motivational orientation of the participating pupils after watching the selected videos. Therefore, the results of the Ph.D. thesis indicate that both types of teaching aids produced in the framework of the Ph.D. thesis, video records of chemistry experiments as well as 3D models produced by 3D printing, can be very useful aids in chemistry education at all types of schools in the Czech Republic.

KEY WORDS

video-experiment, chemistry education, recording of chemistry experiments, unusual approaches, teaching aid, 3D printing

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě této práce ať už dobrou radou, psychickou pomocí nebo přiložením ruky k dílu. Především bych chtěl poděkovat svému školiteli, že se mnou vydržel pracovat až do samého konce. Dále bych chtěl poděkovat svým blízkým, rodině a hlavně manželce za to, že při mne stáli a podporovali mne. Také bych chtěl poděkovat Jindrovi Filovi, Viktoru Sýkorovi a Petrovi Janu Juračkovi za zasvěcení do tajů vědecké fotografie a tvorby videozáznamů a za podnětné návrhy.

1. OBSAH

1.	OBSAH	11
2.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	15
3.	OBECNÝ ÚVOD	17
4.	CÍLE PRÁCE.....	19
4.1	INTERAKTIVNÍ PERIODICKÁ TABULKA PRVKŮ.....	19
4.2	VIDEOZÁZNAMY CHEMICKÝCH REAKCÍ	20
4.3	FYZICKÉ MODELY VYTVOŘENÉ POMOCÍ ADITIVNÍ VÝROBY – 3D TISKU.....	22
5.	NÁZORNOST VE VÝUCE	24
5.1	VYUČOVACÍ METODY	24
5.2	KLASIFIKACE VYUČOVACÍCH METOD	25
5.2.1	<i>Názorně-demonstrační vyučovací metody.....</i>	25
5.2.2	<i>Názornost v chemii – demonstrace.....</i>	27
5.3	DIDAKTICKÉ PROSTŘEDKY	27
5.3.1	<i>Učební pomůcky.....</i>	28
5.4	DIDAKTICKÁ TECHNIKA	30
5.5	MOTIVACE ŽÁKŮ.....	30
6.	PERIODICKÁ TABULKA PRVKŮ	32
6.1	HISTORIE	32
6.2	PAPÍROVÉ PTP – FORMA A MOŽNOSTI VE VÝUCE CHEMIE.....	33
6.3	INTERNETOVÉ PTP – CHARAKTERISTIKA A ANALÝZA VYBRANÝCH	34
6.3.1	<i>http://prvky.chemicke-vypocty.cz/[20].....</i>	34
6.3.2	<i>tabulka.cz[21].....</i>	34
6.3.3	<i>ptable.com[22].....</i>	34
6.3.4	<i>http://www.prvky.com/periodicka-tabulka.html[23].....</i>	35
6.3.5	<i>Periodická tabulka firmy Merck[24].....</i>	35
6.3.6	<i>Periodic Table of Videos[25].....</i>	35
6.3.7	<i>Periodická tabulka Royal Society of Chemistry[27].....</i>	36
7.	VIDEOZÁZNAMY CHEMICKÝCH REAKCÍ.....	37
7.1	EXPERIMENTY VE VÝUCE CHEMIE	37
7.2	VIDEOZÁZNAMY CHEMICKÝCH EXPERIMENTŮ	37
7.3	VÝZNAM VIDEOZÁZNAMU VE VÝUCE	39
7.4	HISTORIE KINEMATOGRAFIE	40

7.5	DISTRIBUCE VIDEOZÁZNAMŮ	40
7.6	DOSTUPNOST DIGITÁLNÍCH VIDEÍ CHEMICKÝCH POKUSŮ NA INTERNETU.....	41
7.7	SLOW-MOTION, TIME-LAPSE, MAKRO VIDEOZÁZNAMY.....	41
7.8	DOSTUPNOST VIDEOEXPERIMENTŮ NATOČENÝCH SPECIÁLNÍMI TECHNIKAMI	43
7.9	TVORBA VIDEOZÁZNAMŮ	43
7.9.1	<i>Preprodukce – přípravná fáze</i>	43
7.9.2	<i>Produkce – vlastní natáčení</i>	44
7.9.3	<i>Postprodukce.....</i>	44
8.	ADITIVNÍ VÝROBA (ADDITIVE MANUFACTURING) – 3D TISK.....	45
8.1	VYUŽITÍ 3D TISKU VE VÝUCE CHEMIE.....	45
8.2	DOSTUPNOST 3D MODELŮ PRO VÝUKU CHEMIE.....	46
8.3	HISTORIE 3D TISKU	47
8.3.1	<i>Projekt RepRap</i>	48
8.4	TECHNOLOGIE 3D TISKU.....	49
8.4.1	<i>Stereolitografie (SL, SLA).....</i>	49
8.4.2	<i>Práškové metody (3DP).....</i>	51
8.4.3	<i>Extruze roztaveného materiálu (FFF, FDM)</i>	54
8.4.4	<i>Vícemateriálové tiskárny (Polyjet, Multijet)</i>	57
9.	POUŽITÝ MATERIÁL A TECHNICKÉ VYBAVENÍ.....	60
9.1	TVORBA VIDEOZÁZNAMŮ CHEMICKÝCH REAKCÍ.....	60
9.1.1	<i>Záznamová technika.....</i>	60
9.1.2	<i>Objektivy.....</i>	61
9.1.3	<i>Osvětlení, stativy.....</i>	61
9.1.4	<i>Výpočetní technika</i>	61
9.1.5	<i>Software.....</i>	62
9.1.6	<i>Formáty videa, rozlišení.....</i>	62
9.2	TVORBA DIDAKTICKÝCH MODELŮ POMOCÍ 3D TISKU.....	62
9.2.1	<i>3D tiskárny</i>	62
9.2.2	<i>Tiskový materiál.....</i>	62
9.2.3	<i>Ostatní materiál.....</i>	63
9.2.4	<i>Software.....</i>	63
10.	TVORBA INTERNETOVÉ INTERAKTIVNÍ PERIODICKÉ TABULKY.....	64
10.1	POŽADAVKY NA FUNKCE VYTVOŘENÉ PTP.....	64
10.2	ZDROJE DAT PRO PTP.....	64
10.3	TVORBA INTERNETOVÝCH STRÁNEK S PTP.....	65

10.3.1	<i>Rozložení hlavní stránky</i>	65
10.3.2	<i>Interaktivní prvky</i>	66
10.3.3	<i>Základní informace o prvcích</i>	67
10.3.4	<i>Fyzikálně-chemické vlastnosti prvků</i>	67
10.3.5	<i>Prvková videa – videozáznamy chemických reakcí</i>	68
11.	TVORBA VIDEOZÁZNAMŮ CHEMICKÝCH REAKCÍ	70
11.1	POŽADAVKY NA VIDEOZÁZNAMY.....	70
11.2	TVORBA TITULKŮ.....	71
11.3	TVORBA KOMENTOVANÝCH VIDEOZÁZNAMŮ.....	72
11.3.1	<i>Důvody pro použití komentovaných videozáznamů</i>	72
11.3.2	<i>Tvorba komentovaných videozáznamů</i>	72
11.3.3	<i>Modelový příklad – Hoření vodíku</i>	73
11.4	TVORBA ČASOSBĚRNÝCH (TIME-LAPSE) ZÁZNAMŮ.....	74
11.4.1	<i>Důvody pro použití časosběrných záznamů</i>	74
11.4.2	<i>Postup tvorby</i>	75
11.4.3	<i>Technické obtíže a jejich řešení</i>	75
11.4.4	<i>Zpracování získaného materiálu</i>	78
11.4.5	<i>Modelový případ – záměnná reakce kovové rtuti s dusičnanem stříbrným</i>	79
11.5	TVORBA SLOW-MOTION – ZPOMALENÝCH ZÁZNAMŮ.....	80
11.5.1	<i>Důvody pro použití zpomalených záběrů</i>	80
11.5.2	<i>Princip funkce rychloběžné kamery</i>	81
11.5.3	<i>Technické obtíže při využití rychloběžné kamery a jejich řešení</i>	82
11.5.4	<i>Modelový případ – výroba a reakce fosfanu</i>	85
11.6	TVORBA MAKRO VIDEOZÁZNAMŮ.....	86
11.6.1	<i>Důvody pro použití makro záznamu</i>	86
11.6.2	<i>Princip funkce</i>	86
11.6.3	<i>Technické obtíže při využití makro objektivu a jejich řešení</i>	86
11.6.4	<i>Modelový případ – záměnná reakce kovové mědi a dusičnanu stříbrného</i>	87
12.	TVORBA MODELŮ POMOCÍ 3D TISKU	89
12.1	POŽADAVKY NA VYTIŠTĚNÉ 3D MODELÝ.....	89
12.2	VÝBĚR MODELŮ.....	89
12.2.1	<i>Využití vybraných modelů ve výuce</i>	90
12.3	POUŽÍVANÝ MATERIÁL.....	92
12.3.1	<i>Kyselina polyléčná (PLA – polylactic acid)</i>	92
12.3.2	<i>Akrylonitrilbutadienový kaučuk (ABS – acrylonitrile butadiene styrene)</i>	93
12.3.3	<i>Polyethylentereftalát (PET – polyethylene terephthalate)</i>	93

12.3.4	<i>Polyvinylalkohol (PVA – polyvinyl alcohol)</i>	93
12.3.5	<i>Polyethylen (PE – polyethylene)</i>	94
12.3.6	<i>Speciální materiály</i>	94
12.4	POUŽITÉ FDM 3D TISKÁRNY.....	94
12.4.1	<i>Builder Dual-Feed</i>	94
12.4.2	<i>CEL Robox</i>	95
12.4.3	<i>Ultimaker Original+</i>	96
12.5	PRŮBĚH 3D TISKU.....	97
12.5.1	<i>Získání digitálního modelu</i>	97
12.5.2	<i>Úprava pro tisk – Slicování</i>	102
12.5.3	<i>Příprava vlastní 3D tiskárny a vlastní tisk</i>	114
12.5.4	<i>Úprava modelu po tisku – post-processing</i>	117
12.6	TVORBA MODELŮ.....	120
12.6.1	<i>Modely tvarů molekul podle teorie VSEPR</i>	120
12.6.2	<i>Modely pro výuku symetrie koordinačních částic</i>	122
12.6.3	<i>Modely anorganických a organických molekul vytvořené na základě krystalografických dat</i>	123
12.6.4	<i>Modely anorganických a organických molekul na základě vypočtené geometrie</i>	125
12.6.5	<i>Modely struktur proteinů</i>	126
12.6.6	<i>Modely orbitalů</i>	126
12.6.7	<i>3D periodické tabulky prvků</i>	128
12.6.8	<i>Náhradní díly k molekulové stavebnici</i>	129
13.	VÝZKUMNÉ ŠETŘENÍ.....	130
13.1	POUŽITÁ METODIKA.....	130
13.1.1	<i>Struktura hodiny „Hoření pohledem objektivu kamery“</i>	131
13.1.2	<i>Zpracování dat</i>	132
13.1.3	<i>Výsledky</i>	133
14.	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	145
14.1	VYTVOŘENÁ INTERAKTIVNÍ PERIODICKÁ TABULKA PRVKŮ.....	145
14.2	VIDEOZÁZNAMY CHEMICKÝCH REAKCÍ.....	146
14.3	FYZICKÉ MODEL YTVOŘENÉ POMOCÍ 3D TISKU.....	149
15.	ZÁVĚR.....	152
17.	LITERATURA.....	153
18.	PŘÍLOHY.....	160
18.1	SEZNAM PŘÍLOH.....	160

2. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

2D	dvoudimenzionální – plošný
3D	třídimenzionální – prostorový
3DP	3D print – technologie 3D tisku
ABS	akrylonitrilbutadienový kaučuk
ANOVA	Analysis of Variance
CAD	software pro 2D a 3D modelování (Computer-Aided Design)
FDM	extruze roztaveného materiálu (Fused Deposition Modeling)
FFF	konstruování z roztaveného filamentu (Fused Filament Fabrication)
fps	snímků za sekundu (frames per second)
HIPS	high-impact polystyrene
IMI	Intrinsic Motivation Inventory (dotazník vnitřní motivace)
MIT	Massachusetský technologický institut (Massachusetts Institute of Technology)
SMLQ	Motivated Strategies for Learning Questionnaire (Dotazník motivačních strategií pro učení se)
PDB	databáze struktur proteinů (Protein Data Bank)
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PLA	kyselina polymléčná (Polylactic acid)
PTP	periodická tabulka prvků
PVA	polyvinylalkohol
RepRap	seberekopující 3D tiskárna (Replicating Rapid Prototyper)
RVP	rámcový vzdělávací program
SL	stereolitografie (Stereolithography)
SLA	stereolitografie (Stereolithography)
SLS	selektivní spékání laserem (Selective Laser Sintering)
SŠ	střední škola

VSEPR	Valence Shell Electron Pair Repulsion (teorie odpuzování elektronových párů)
VŠ	vysoká škola
ZŠ	základní škola
*.cif	soubor krystalografických dat (crystalography information file)
*.gcode	soubor instrukcí pro 3D tiskárnu
*.pdb	soubor sktruktury molekuly (protein data bank)
*.stl	stereolitografie – soubor 3D modelu

3. OBECNÝ ÚVOD

Vhodné a názorné učební pomůcky jsou nenahraditelnými pomocníky při výuce jakéhokoli předmětu. Obzvláště při výuce chemie, tedy předmětu, který je už ze své podstaty v řadě případů předmětem nanejvýš teoretickým, alespoň v té své části, kdy popisuje strukturu hmoty. Na rozdíl od jiných předmětů, které se zabývají hlavně popisy reálných a pouhým okem pozorovatelných skutečností, zůstává určitá část chemie před zraky studentů skryta.

Jedná se hlavně o tu část chemie, která se zabývá samotnou podstatou hmoty, atomy a molekulami[1]. Zde se jedná o čistě teoretické popisy skutečnosti, a pouhý popis prostorové struktury (například tvaru molekuly nebo atomového či molekulového orbitalu) bez využití jakékoli ilustrace pomocí nákresu či schématu je pro žáky obtížné pochopit[2].

Pro výuku abstraktních pojmů se pak hodí takové modely, které si žák může prohlédnout ze všech stran a nejlépe i osahat, neboť už J. A. Komenský zastává myšlenku, že pro lepší názornost a pochopitelnost je vhodné žákům předkládat učivo co nejvíce smysly[3].

„Proto budiž učitelům zlatým pravidlem, aby všechno bylo předváděno všem smyslům, kolika možno. Totiž věci viditelné zraku, slyšitelné sluchu, vonné čichu, chutnatelné chuti a hmatatelné hmatu; a může-li něco být vnímáno najednou více smysly, budiž to předváděno více smyslům.“[4]

Různým smyslům je ale potřeba předkládané jevy, děje a skutečnost předpřipravit a to takovým způsobem, aby byly co nejvíc názorné. Malé předměty je potřeba náležitě zvětšit, velké pak zmenšit, složité zjednodušit, rychlé zpomalit, pomalé zrychlit. Tyto skutečnosti je ale vždy žákům nezbytné vysvětlit, aby použitím takových pomůcek nevznikaly miskoncepce.

Pro učitele chemie je dostupné nepřeborné množství různých pomůcek, ať už se jedná o různé obrazy, schémata, videozáznamy nebo prostorové modely. Vzhledem k tomu, že jak technologie, tak chemie se rapidně vyvíjí, učební pomůcky, které byly vytvořeny před několika dekádami, mohou být dnes nepoužitelné, nebo použitelné jen s velkou nostalgií. Toto může být způsobeno zastaráním informací, které tyto pomůcky prezentují, nebo i jen tím, že dnes se již nevyrábí didaktická technika, která by tyto pomůcky dokázala prezentovat (například je dnes téměř nemožné sehnat přehrávač na VHS kazety). Také žáci očekávají interaktivní a moderní pomůcky, využití počítačů, tabletů, kdežto staré černobílé obrazy je tolik neuchvátí a nemotivují[3]. Fyzické modely také mívají svou životnost a mnohdy se můžeme na školách setkávat s molekulovými modely, kterým chybí atomy nebo deformovanými orbitály.

Je tedy na místě zamyslet se nad tvorbou nových a moderních pomůcek, vytvořených pomocí nových a moderních technologií, které by doplnily, případně nahradily pomůcky staré tak, aby názornost pomůcky a celkově její didaktická hodnota odpovídaly moderním standardům a trendům

4. CÍLE PRÁCE

Cíle této práce se dají rozdělit do několika skupin, které se vztahují k jednotlivým částem práce. Společným jmenovatelem těchto cílů je návrh a výroba různých moderních učebních pomůcek tak, aby splňovaly požadavky na moderní a názornou výuku chemie. Pojmem „moderní“ je u těchto pomůcek myšlen způsob jejich návrhu a výroby, který využívá aktuální technologie a techniky, které mají technický a didaktický potenciál. Zároveň se jedná o techniky, které se v posledních letech staly dostupnými pro běžné uživatele (a učitele). Takto „moderních“ pomůcek by bylo možné vytvořit velké množství, což by ale přesahovalo rozsah této práce. Nicméně vzhledem k tomu, že se podařilo v rámci několika projektů získat přístup k moderním technickým prostředkům, jako jsou rychloběžná kamera, kvalitní fotoaparáty a videokamery a několika typům 3D tiskáren, tato práce se nakonec zaměřila na tvorbu vhodných učebních pomůcek právě s ohledem na efektivní využití těchto technik. Způsob výběru konkrétních typů pomůcek (např. 3D modelů pro 3D tisk) ke zpracování a výrobě je vždy popsán v textu. Většinou ale tyto pomůcky byly vybrány na základě diskusí a rozhovorů s vysokoškolskými a středoškolskými učiteli a jejich vývoj byl řízen jejich konkrétními potřebami a náměty, jak bylo ostatně charakterizováno v rámci návrhů zmiňovaných projektů.

Tyto moderní učební pomůcky se dají rozdělit na tři skupiny:

- interaktivní internetová periodická tabulka
- videozáznamy chemických reakcí využívající speciální filmařské techniky pro znázornění pouhým okem nepostřehnutelných chemických procesů
- prostorové, fyzické modely pro výuku chemie vytvořené pomocí 3D tiskárny.

4.1 Interaktivní periodická tabulka prvků

Prvním z cílů je navrhnout a vytvořit internetovou (tedy dostupnou na internetu ve vhodném webovém formátu) interaktivní periodickou tabulku prvků (PTP). Ta má za cíl relativně neobvyklými způsoby seznamovat zájemce se světem chemických prvků, sloučenin a reakcí. Tato stránka má za cíl být zdrojem ověřených, správných a nějakým způsobem zajímavých informací jak pro učitele chemie na středních (SŠ) a základních školách (ZŠ) a jejich žáky, tak pro širokou veřejnost. Tato tabulka si nicméně neklade za cíl být komplexním zdrojem informací. Tato PTP má motivovat čtenáře k většímu zájmu o chemii

prostřednictvím jejího netradičního a unikátního obsahu a být vhodným doplňkovým zdrojem informací pro zatraktivnění a zkvalitnění výuky chemie na všech typech škol. Nejsou v ní k nalezení všechny existující reakce vodíku, ale bude zdrojem zajímavých informací o některých aspektech jeho reakcí a reaktivity, které čtenář jinde v této formě nenajde.

S tvorbou interaktivní periodické tabulky souvisí její design, návrh funkčnosti a vytvoření digitálního obsahu vlastní stránky:

- PTP bude obsahovat databázi základních fyzikálních údajů (atomová hmotnost, bod tání, bod varu, ...), tyto informace budou dostupné ke všem prvkům a tyto údaje by měly vycházet z odborně správných a ověřených zdrojů.
- PTP bude obsahovat interaktivní prvky, které mají vizualizovat trendy vybraných fyzikálních vlastností prvků, které zatraktivní tabulku jako takovou (např. zobrazení skupenství prvku v závislosti na zvolené teplotě). Tyto prvky je nutné navrhnout, zrealizovat a vyzkoušet jejich funkčnost a názornost.
- Popis základních fyzikálních vlastností prvků, bude doplněn informacemi o jejich výskytu, přípravě a průmyslové výrobě, využití v běžném životě a zajímavostech spojených s jejich objevem a vlastnostmi.
- PTP bude u vybraných nejběžnějších prvků doplněna o obrázky jednotlivých prvků, tak, aby co možná nejnázorněji zobrazovaly jejich vzhled za běžných podmínek. Tyto obrázky by neměly být chráněny cizími autorskými právy a měly by být autorskou tvorbou;
- Nedílnou a zásadní součástí vytvořené PTP budou u vybraných (z hlediska výuky na SŠ) prvků zajímavé a motivující videozáznamy chemických reakcí. Tyto chemické reakce se budou vztahovat k těmto prvkům a jejich sloučeninám a budou demonstrovat jejich vlastnosti a typické chování (více viz kapitolu 4.2).

4.2 Videozáznamy chemických reakcí

Cílem druhé části práce pak je vytvoření série krátkých videozáznamů zachycujících průběh chemických reakcí, tyto videozáznamy jsou součástí internetové interaktivní periodické tabulky prvků.

S tvorbou videí souvisí výběr vhodných chemických reakcí tak, aby vhodně demonstrovaly vlastnosti chemických prvků. Hlavním přínosem této části práce má být volba takových chemických reakcí, které jsou nějakým způsobem zajímavé a zároveň u kterých je samotná chemická přeměna nepostřehnutelná pouhým okem a tyto chemické předměty by byly

zviditelněny pomocí použití speciálních filmařských technik jako je použití rychloběžné kamery (slow-motion), časosběru (time-lapse) či makro záznamu. Jde tedy většinou o reakce, které učitel ve výuce z principu věci nemůže žákům demonstrovat přímo (kvůli jejich rychlosti či pomalosti) a nemůže si je pro své potřeby natočit sám (např. kvůli nedostupnosti potřebné techniky a nezkušenosti s jejím používáním), ale zároveň lze jejich prezentaci ve výuce považovat za potřebnou či motivační.

V tomto ohledu je nutné zvládnout práci se speciální filmařskou technikou a vybavením, aby bylo dosaženo pokud možno profesionálně vypadajících videozáznamů bez přítomnosti rušivých elementů, které by upoutávaly pozornost žáků a snižovaly tak didaktickou hodnotu videa.

S výběrem chemických reakcí také souvisí výběr vhodné natáčecí techniky, či kombinace technik a návrh vhodného natáčecího prostředí – scény, aby došlo ke vzniku profesionálně vypadajících videozáznamů s maximální možnou názorností a viditelností dokumentovaných dějů. Stejně tak je potřeba se zabývat vizuální stránkou věci, aby vznikly umělecky pěkné videozáznamy bez rušivých prvků.

Pro zpracování natočeného materiálu je nutné zvládnout zpracování materiálů v různých programech v závislosti na typu vstupních dat – jejich konverze a následně střih videozáznamů ve specializovaných programech.

Pro vzniklé videozáznamy je pak třeba vybrat vhodný způsob jejich distribuce uživatelům pomocí internetu a propojit tyto videozáznamy s interaktivní tabulkou prvků. Dále pak vytvořit motivační texty popisující v češtině jevy zobrazované na videozáznamech.

Tyto videozáznamy nemají zastávat funkci samostatných výukových prostředků, jejich funkce má být hlavně motivační. Mají zvýšit zájem studentů a žáků i široké veřejnosti o studium chemie a ukázat krásu chemických procesů – samotné videozáznamy nejsou výukovým celkem, mají pouze výukový obsah, který ale může učitel využít ve své výuce jako vhodný doplňkový motivační a výukový materiál.

Posledním cílem této části práce je realizace výzkumného šetření zaměřeného na názory žáků na prezentovaná videa a na jejich motivační orientaci při výuce s využitím připravených videozáznamů. Dále si práce klade za cíl zjistit, zda jsou statisticky významné rozdíly

v motivaci žáků v závislosti na zvolených faktorech, kterými jsou navštěvovaná škola, pohlaví či věk žáků a dále, který typ videí nejvíce zvyšuje motivaci žáků.

4.3 Fyzické modely vytvořené pomocí aditivní výroby – 3D tisku

Cílem třetí části práce je prozkoumat možnosti využití tzv. 3D tiskáren pro tvorbu učebních pomůcek určených pro výuku chemie, prozkoumat dostupné technologie a navrhnout vhodné procesy tvorby a tisku pomůcek pro použití ve školním prostředí ve výuce chemie.

Je nutné zvládnout proces výroby digitálních modelů vhodných pro výrobu pomocí dostupné technologie 3D tisku a zvládnutí řízení a nastavení samotného aditivního procesu výroby. Pro tvorbu pak využít jak publikovaných postupů, tak tyto postupy modifikovat, či vytvořit postupy nové. Tyto postupy mají být takové, aby následná produkce pomůcky splňovala zvolené parametry, zejména s ohledem na kompromis ceny, didaktické názornosti, odborné správnosti a jednoduchosti navrženého postupu tak, aby tisk alespoň některých objektů zvládl i běžný učitel zaškolený v problematice 3D tisku.

Na základě konzultace s vyučujícími chemie z prostředí ZŠ, SŠ a VŠ je pak cílem práce vytvořit několik sad učebních pomůcek. Na základě požadavků jednotlivých učitelů vytvořit digitální modely těchto pomůcek a následně tyto modely převést pomocí 3D tiskárny do formy fyzického objektu. Všechny vytvořené modely by měly co nejvěrněji popisovat demonstrovanou skutečnost (měly by být odborně správné a přesné) a zároveň by měly být vytvořeny s ohledem na jejich názornost a způsob využití.

Cílem je také zveřejnit na dostupných internetových portálech (jako je např. www.thingiverse.com) obecné postupy tvorby určitých typů digitálních modelů i fyzických objektů na základě získaných zkušeností.

Dalším cílem je vytvořit volně dostupnou databázi didakticky správných, názorných, funkčních a vyzkoušených modelů, které je možné bez úprav rovnou vyrobit a využít ve výuce chemie – vyvinout metody tisku tak, aby modely byly levné, názorné a odborně správné.

Teoretická část

5. NÁZORNOST VE VÝUCE

Aby byly učební pomůcky použitelné ve výuce, je potřeba aby splňovaly určitá pravidla. Jedním z nich je to, že by tyto pomůcky měly být názorné. Názornost, resp. zásada názornosti, je poměrně těžko uchopitelný pojem, který spolu s dalšími zásadami tvoří komplex požadavků, jejichž správné uplatňování přispívá k úspěšné realizaci výchovně vzdělávacího procesu. Jde o způsob vnímání reality pomocí smyslů. Učitel by měl vést výuku takovým způsobem, aby vyvolával v žácích představu popisované skutečnosti[5].

5.1 Vyučovací metody

Efektivita vyučovacího procesu závisí nejen na správném vytyčení cílů i obsahu, ale i na způsobech, jak těchto cílů dosáhnout. S tímto souvisí vhodná volba metody výuky, organizační formy a materiálních prostředků, které má učitel k dispozici. Vyučovací metoda má nejen teoretický, ale i praktický význam pro výchovně vzdělávací proces[6].

Pojem metoda pak lze chápat jako cestu nebo prostředek k dosažení nějakého cíle, v kontextu didaktiky pod pojmem vyučovací metoda chápeme způsoby záměrného uspořádání činností učitele i žáků, které směřují ke stanoveným cílům. Samotné vyučovací metody procházejí dlouhým historickým a evolučním vývojem, od napodobování dospělých dětmi, přes přednášky a dialogickou výuku v antickém Řecku, přirozenou metodu vzdělávání napodobováním přírody, kterou prosazoval J. A. Komenský, až po moderní alternativní metody výuky[3].

Vyučovací metody také můžeme charakterizovat jako koordinovaný systém vyučovacích činností učitele a učebních aktivit žáka, který je zaměřen na dosažení učitelem stanovených a žáky akceptovaných výukových cílů[7].

Volba vhodné vyučovací metody pak závisí na mnoha faktorech, jako jsou stanovené cíle, charakter předmětu, organizační formy výuky, učební možnosti žáků či osobnost učitele[6]. Zároveň není pravdou, že by historicky starší vyučovací metody byly v moderní době nepoužitelné nebo špatné, ve výsledku je vyučování komplexním systémem a kombinací vyučovacích metod.

5.2 Klasifikace vyučovacích metod

Jednotlivé vyučovací metody můžeme klasifikovat na základě různých parametrů. Z hlediska pramene poznání a typu poznatků (didaktického aspektu) je dělení následující[3]:

1. Metody slovní (využívající mluvené i psané slovo)
 - 1.1. Monologické metody – vysvětlování, výklad, přednáška
 - 1.2. Dialogické metody – rozhovor, dialog, diskuse
 - 1.3. Metody písemných prací – písemná cvičení, kompozice
 - 1.4. Metody práce s učebnicí, knihou, textovým materiálem
2. Metody názorně-demonstrační (přímé pozorování předmětů a jevů)
 - 2.1. Pozorování předmětů a jevů
 - 2.2. Předvádění – předmětů, činností, pokusů, modelů
 - 2.3. Demontrace statických obrazů
 - 2.4. Projekce statická a dynamická
3. Metody dovednostně-praktické (praktické činnosti)
 - 3.1. Návuk pohybových a pracovních dovedností
 - 3.2. Laboratorní činnosti žáků
 - 3.3. Pracovní činnosti – v dílnách, na pozemku
 - 3.4. Grafické a výtvarné činnosti

V praxi užívání metod se tyto jednotlivé kategorie slévají, metody se využívají souběžně a vzájemně se propojují.

5.2.1 Názorně-demonstrační vyučovací metody

Obecně se dá říci, že slovní výukové metody umožňují přímý a rychlý přenos poznatků a jsou bezprostřední a univerzální transportní cestou pro všechny druhy zkušeností. Slovo a řeč tvoří ale pouze nadstavbu nad lidskou zkušeností, která je pro člověka existenčně nutná, neboť je náhradou za instinkty a umožňuje mu vlastně zvládnání života. Tím se potvrzuje i důležitost smyslového vnímání a praktických aktivit v poznávacím procesu[4].

Názorně demonstrační metody se opírají o přímý názor, o pozorování jevů a jsou důležité především pro počáteční fázi poznání, které začíná často prožitkem a vjemem[7]. Tyto metody jsou založeny především na pozorovací činnosti žáků, uvádějí žáky do přímého styku s poznávanou skutečností, obohacují její představy, konkretizují abstraktní systém pojmů, podporují spojování poznávané skutečnosti s reálnou životní praxí[3].

Tyto metody jsou sice časově náročnější oproti metodám slovním, a také vyžadují od učitele větší přípravu, ale na druhou stranu tvoří učivo atraktivnější pro žáky[8]. Proto by měly být běžnou součástí jakéhokoli vyučovacího procesu na základních i středních školách.

Využití názorně-demonstračních metod vychází z myšlenky, že veškeré informace, které doputují do mozku, musí nejprve projít smysly. Vzhledem k tomu, že různé smysly nevyužíváme k získávání informací stejnou měrou (uvádí se, že 87 % informací vstupuje do mozku skrze zrak, 9 % díky sluchu, a pouze 4 % prostřednictvím ostatních smyslů[9]), je výhodné při výuce působit nejen na sluch, ale hlavně na ostatní smysly. Zatímco při slovních výukových metodách dochází k působení pouze na jeden smysl – sluch (verbálně komunikační kanál), při názorně-demonstračních metodách dochází k působení na ostatní smysly, jako je hmat a zrak[4]. Využití pouze slovních výukových metod tak nutně pozbývá na názornosti.

Názorně-demonstrační vyučovací metody lze pak dále klasifikovat do kategorií, z hlediska toho, s jakým typem pomůcek učitel pracuje[6]:

- samostatné pozorování předmětů a jevů,
- předvádění předmětů, činností, pokusů a modelů,
- demonstrace statických obrazů,
- projekce statická a dynamická.

Jádrem demonstračních metod je plánovité a cílevědomé pozorování. Proces vnímání je pak řízen učitelem, který upozorňuje na to, čeho si mají žáci všimnout, na co mají soustředit svou pozornost, a které momenty jsou důležité. Jedná se o proces aktivního pozorování a myšlení žáků[3].

Předvádění různých předmětů, procesů a činností, čili demonstrace, má v historii velkou tradici. Zastáncem (a průkopníkem) této myšlenky využívání demonstrací byl také J. A. Komenský, zejména v tom smyslu, že lidské poznání je založeno na rozumových vjemech. Nade vše pak klade zásadu názornosti, ve svém díle *Didaktika magna* pak píše:

„Lidé se mají učit moudrosti pokud možno ne z knih, nýbrž z nebe, země, dubův a buků, tj. znáti a zkoumati věci samy a ne pouze cizí pozorování a svědectví o věcech.“ [5],

případně Zlaté pravidlo pro učitele:

„Proto budiž učitelům zlatým pravidlem, aby všechno bylo předváděno všem smyslům, kolika možno. Totiž věci viditelné zraku, slyšitelné sluchu, vonné čichu, chutnatelné chuti a hmatatelné hmatu; a může-li něco být vnímáno najednou více smysly, budiž to předváděno více smyslům.“ [4]

I moderní didaktika pracuje s tím, že pro úspěšné uskutečňování učebního procesu je nutné využívat různé učební pomůcky a působit jimi na co nejvíce smyslů[7].

5.2.2 Názornost v chemii – demonstrace

Názornost hraje důležitou roli zejména při výuce přírodovědných předmětů, které jsou ve své podstatě často abstraktní, a právě vizualizace těžko pochopitelných abstraktních pojmů usnadňuje jejich pochopení. Názorné demonstrace usnadňují pochopení učiva, protože umožňují učitelům vyložit a žákům pochopit probíranou látku dostatečně srozumitelně a přehledně. Chemii nemá smysl učit jako řadu definic a algoritmů, pokud nejsou podpořeny bohatými smyslovými podněty. Učivo zprostředkované názorně, zejména díky vizualizovaným informacím, si žáci většinou rychleji osvojují a navíc neverbální informace vykazují větší trvanlivost. Srozumitelně podané informace navíc upevňují získané poznání v dlouhodobě paměti[8], [9].

Chemie je z hlediska názornosti věda obojaká. Na rozdíl od jiných předmětů může těžit z toho, že popisuje zcela reálné věci (látky, chemikálie, děje), které je možné při výuce nejen na živo ukázat, mnohdy i osahat případně (výjimečně i) ochutnat. V případě chemických změn pak lze využít různých chemických experimentů ať už k demonstračním účelům nebo k vlastní práci žáků.

Na druhou stranu jsou součástí výuky chemie i části, které se zabývají čistě abstraktními pojmy, jako je složení hmoty, stavba atomů, tvary molekul, průběh chemické reakce nebo názvosloví. Pro tyto účely nejde využít přímé pozorování skutečnosti (molekuly jsou pouhým okem neviditelné), je potřeba využít modelů, které znázorňují vhodným způsobem skutečnost.

Ve výuce chemie je běžné využívat různé ilustrace a obrázky, ale mnohé skutečnosti se lépe znázorňují pomocí různých animací (hlavně dynamické procesy) nebo prostorovými učebními pomůckami (tvary, prostorová uspořádání).

5.3 Didaktické prostředky

Didaktické prostředky zahrnují všechny materiální předměty, které zajišťují, podmiňují a zefektivňují průběh vyučovacího procesu[3]. Jde o takové předměty, které napomáhají dosažení výchovně-vzdělávacích cílů[7]. Tyto prostředky, ke kterým patří mimo jiné

i vybavení škol a tříd, různé učebnice, knihy a různé materiální učební pomůcky, se postupně mění s vývojem kultury a techniky a intenzivně podléhají modernizaci.

5.3.1 Učební pomůcky

Učení pomůcky se dají charakterizovat jako objekty, či předměty zprostředkující nebo napodobující realitu, napomáhající větší názornosti nebo usnadňující výuku. Může se jednat např. o přírodniny, obrazy, schémata, symboly nebo modely. Současná nabídka učebních pomůcek pak zahrnuje širokou škálu auditivních, vizuálních, obrazových a technických pomůcek, které jsou součástí vyučování[10].

Učební pomůcky lze rozčlenit podle své podstaty do následujících kategorií[11]:

- skutečné předměty (výrobky, přírodniny, preparáty),
- modely (statické, dynamické),
- zobrazení:
 - obrazy, schémata, symbolická zobrazení,
 - statická projekce (diaprojekce, zpětná projekce),
 - dynamická projekce (film, televize, video);
- zvukové pomůcky (hudební záznamy),
- dotykové pomůcky (reliéfové obrazy, slepecké písmo),
- literární pomůcky (učebnice, příručky, atlasy, texty),
- programy (software).

Do výuky mohou být učební pomůcky včleněny ve formě demonstrace (demonstrační pomůcky) nebo se mohou stát objekty práce studentů (multiplikáty). Manipulace s pomůckami žáky může aktivizovat a vést k bezprostřednímu cílevědomému zkoumání, jež má motivační charakter[8].

Podle charakteru pomůcek mohou plnit pomůcky v poznávacím procesu žáků různé funkce. Na učiteli je pak volba, které pomůcky jsou vhodné pro dosažení cílů, které při vyučování sleduje, a to vzhledem k psychickému vývoji žáků, jejich dosavadních dovednostem a zkušenostem a podmínkám realizace[3].

Významné jsou hlavně pomůcky, které vizualizují abstraktní myšlenky a skutečnosti. Hlavní výhody v používání vizuálních učebních pomůcek můžeme vidět v tom, že[9]:

- upoutávají pozornost žáků,
- přinášejí změnu a vzbuzují zájem,

- napomáhají konceptualizaci – abstraktní pojmy jsou lépe pochopitelné vizualizovaně,
- jsou snáze zapamatovatelné,
- jsou projevem učitelova zájmu.

V chemii jsou důležitými učebními pomůckami různé modely.

5.3.1.1 Modely

Dle Maňáka[4] chápeme model jako takové zobrazení skutečnosti, které využívá jen těch rysů, které jsou podstatné z hlediska sledovaného cíle. Průcha pak tento termín vykládá jako výsledek modelování, tedy procesu, kdy se konstruuje zjednodušený obraz reality. Tento obraz pak umožňuje studovat modelovaný objekt, systém nebo proces a formulovat předpovědi jeho chování[10].

Modely hrají ve výuce chemie důležitou roli, neboť veškeré zápisy struktur molekul či popisy stavby hmoty jsou pouze zjednodušeným obrazem skutečnosti, která je vědomím neuchopitelná. Díky různým modelům pak dokážeme předpovídat vlastnosti různých látek, jejich prostorové uspořádání a tvary. Modely jsou potřebné zvláště tam, kde nelze využít skutečných objektů nebo kdy skutečné modely jsou příliš složité a náročné a kde složitost znemožňuje soustředit se na podstatu[5].

Modely nemůžeme chápat jako přesnou kopii reality, tato realita je nějakým způsobem upravená, nemusí přesně postihovat všechny aspekty daného jevu nebo děje. Modely většinou nemusí obsahovat nepodstatné části, často jsou důležité části barevně vyznačeny[9], je tedy patrná snaha o kompromis mezi odbornou správností a názorností modelu.

Dle Hunterové[12] by správný model měl splňovat následující pravidla:

- model by měl být přesný,
- jednoznačný,
- názorný,
- pravdivý.

Petty[9] pak přidává ještě požadavek na vhodnou velikost modelu tak, aby byl dostatečně velký v případě, že se využívá jako model demonstrační. Tyto principy je pak nutné dodržovat při navrhování nových didaktických pomůcek.

Různé výzkumy pak ukazují, že využití třídimenzionálních modelů pomáhá studentům v učení, pomáhají v pochopení trojrozměrné struktury molekul atd. 3D modely také napomáhají procesu uchování v dlouhodobé paměti a zpětnému vybavení[4].

Ve výuce chemie se často využívají různé materiální modely trojrozměrného charakteru. Pro popis struktury látek se využívají modely molekul, nebo chemické stavebnice. Pro popis struktury elektronového obalu atomu se využívají modely orbitalů.

5.4 Didaktická technika

Didaktická technika je souborné označení technických zařízení užívaných pro výukové účely. Didaktickou technikou se rozumí buď jen přístroje, nebo i jejich programy. Obvykle se rozlišuje didaktická technika tradiční (diaprojektor, zpětný projektor, filmový projektor aj.) a moderní (počítač s didaktickým programem, jazyková laboratoř, multimediální výukový systém aj.) [10]. Tato technika je při vyučování využívána k distribuci učebních pomůcek nemateriální podstaty.

V dnešní době je běžné, že jsou učebny ve školách vybaveny počítačem s dataprojektorem a připojením na internet. Toto pak značně zjednodušuje distribuci digitálního obsahu pro chemické vzdělávání.

5.5 Motivace žáků

Motivaci je nedílnou součástí každého vyučovacího procesu, jedná se o tu část, která žáky vede k většímu úsilí věnovat se danému předmětu a ve výsledku také k lepším výsledkům. Motivaci lze chápat jako souhrn vnějších a vnitřních faktorů, které člověka vzbuzují, dodávají mu energii k jednání a prožívání, případně zaměřují jednání určitým směrem [10], případně jako procesy podněcování, podporování, usměrňování činnosti [3]. Mluvíme pak o motivační orientaci. Z hlediska působení motivace k učení ji pak můžeme rozdělit na vnější motivaci a motivaci vnitřní.

Vnitřní (primární) motivace žáka je taková pohnutka, kdy se žák učí (věnuje se činnosti) proto, že ho zaujalo dané téma nebo činnost. Hybateli nejsou pak jen pohnutky biologické, ale do určité míry i potřeby duševní [3]. Žák tedy aktivně pracuje, aniž by potřeboval nějaký vnější stimul, příslib odměny nebo trestu. Vnitřní motivace žáka je závislá na tom, zda žák určitou činnost vnímá jako smysluplnou pro něj osobně. Tato motivace se také zvětšuje, pokud se žák aktivně podílí na výběru cílů a metod a hodnocení výsledků. Z hlediska vnitřní orientace je pak výhodné využívat ve škole nová média, například počítače [7].

Vnější (sekundární) motivací pak můžeme chápat situaci, kdy žák se aktivně zapojuje do činnosti pod vidinou nějaké odměny, nebo aby se vyhnul trestu. Toto ale vede k tomu, že žák pracuje pouze do takové míry, aby splnil zadané podmínky. Vnitřně orientovaní jedinci mají pak lepší výsledky v porovnání s jedinci orientovanými vnějšně[7].

Ve vyučování se ukazuje, že je ale potřeba kombinovat vnitřní a vnější motivaci systémem odměn, ale i ukázáním smysluplnosti a souvislosti vyučovaných skutečností.

6. PERIODICKÁ TABULKA PRVKŮ

Periodická tabulka prvků (PTP) je pravděpodobně nejznámější reprezentací vlastností chemických prvků, jedná se o uspořádání jednotlivých chemických prvků do jednotného systému ve formě tabulky (Obrázek 1). Prvky jsou rozděleny do 4 bloků – *s*, *p*, *d* a *f*, jsou podle svého protonového čísla seřazeny do řádků – period a podle svých vlastností do sloupců – skupin[13]. Prvky jsou v PTP seřazeny podle vzrůstajícího protonového čísla tak, aby ve skupině vždy byly prvky se stejnými nebo podobnými chemickými vlastnostmi, jako je jejich chování, reakce, běžná oxidační čísla.

PTP se díky své povaze a informacím v sobě obsaženým nestala jen pomůckou odborných chemiků, ale také základní didaktickou pomůckou ve výuce chemie. Díky poloze jednotlivých prvků v tabulce může být odvozeno jejich chování, zřetelně také ukazuje jednotlivé vztahy mezi prvky, které pak lze i odvozovat.

6.1 Historie

Historie PTP se táhne až do poloviny 19. století a je spojená se jménem svého objevitele Dmitrije I. Mendělejeva. Ten na základě zkoumání vlastností v té době známých prvků a jejich sloučenin formuloval periodický zákon a pokusil se zařadit jednotlivé prvky do určitého systému podle jejich chování. Svou nejvýznamnější práci zaměřenou na periodickou tabulku prvků publikoval v roce 1869. Kromě samotného systému prvků pak dokázal na základě známých údajů o prvcích předpovědět chování několika v té době neznámých prvků a jeho sloučenin[14], [15].

Původní Mendělejevova periodická tabulka prvků neměla s tvarem dnešní tabulky příliš společného, neboť její původní návrh byl o 90° otočený. Postupem času měnila periodická tabulka prvků svůj tvar až do dnes nejpoužívanější „dlouhé“ verze, kterou představil v roce 1905 Alfred Werner. Kromě této varianty existuje nespočetné množství různých typů periodických tabulek, kdy každý typ je upraven tak, aby názorně demonstroval určitou souvislost vlastností prvků v periodickém systému [2].

Group→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57 La	* 72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	* 104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
				* 58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
				* 90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Obrázek 1: Dnes nepoužívanější dlouhá varianta periodické tabulky prvků.ⁱ

V dnešní době nad obsahem PTP bdí Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou chemii (IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry), která mimo jiné schvaluje, určuje a oznamuje objevy nových prvků. Poslední aktualizace proběhla v listopadu 2016, kdy do periodické tabulky prvků přibýly prvky s protonovými čísly 113, 115, 117 a 118[16], [17].

6.2 Papírové PTP – forma a možnosti ve výuce chemie

Běžnou formou PTP je její tištěná dvou dimenzionální verze, kdy v jednotlivých políčkách tabulky je uvedena značka prvku, jeho název, protonové číslo a atomová hmotnost, případně doplněné o některé další fyzikálně-chemické údaje. Tento formát je vhodný pro běžné použití, protože je nenáročný na obsluhu a distribuci, kdy odpadá využití různých zobrazovacích zařízení. Nevýhoda tohoto uspořádání je ta, že pokud má být tabulka přenosná, není v ní dostatek místa na další údaje, jako jsou popisy využití jednotlivých prvků, stejně tak z PTP nemusí být na první pohled patrné jednotlivé trendy, jako je třeba růst elektronegativity v periodě a jeho pokles ve skupině. Řešením tohoto problému by mohla být vhodná interaktivní verze, speciálním případem pak 3D periodická tabulka prvků, vytvořená pomocí 3D tiskárny, kdy výška jednotlivých políček reprezentuje míru některé fyzikální vlastnosti, kde jsou příslušné trendy patrné na první pohled.

ⁱBy Sandbh - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=55162370>

ⁱⁱ https://www.conatex.cz/catalog/chemie/molekulove_modely/modely_biologickych_molekul/product-stolni_model_dna/sku-1153709#.WVKbH3GkJJc (navštíveno 26. 10. 2016).

6.3 Internetové PTP – charakteristika a analýza vybraných

Internet je robustním nástrojem, který umožňuje sdílení informací s velkým množstvím lidí. S rozmachem internetu se objevily i internetové stránky představující periodickou tabulku z řady pohledů a demonstrující její odborné i didaktické aspekty. Přesto, že internet umožňuje snadnou prezentaci periodické tabulky prvků s využitím netradičních prvků, většina prezentací se drží původního schématu „klasické“ 2D tabulky bez výraznější přidané hodnoty, zejména pak v českém prostředí. Několik výjimek situaci nezachraňuje a učitel tak nemá ve volbě vhodné PTP odpovídající více jeho didaktickým záměrům příliš mnoho voleb[18]. Přitom výhodou prostředí webových stránek je možnost vytvoření nejen statické periodické tabulky (jako je například tabulka na stránce periodickatabulka.cz[19]), ale i tabulky, která reaguje na zadání uživatele. Mezi zajímavé projekty patří následující internetové periodické tabulky.

6.3.1 <http://prvky.chemicke-vypocty.cz/>[20]

Jedná se o jednoduchou periodickou tabulku prvků v češtině, obsahuje pouze základní fyzikální údaje, které se zobrazí po kliknutí na jednotlivé prvky.

6.3.2 tabulka.cz[21]

Periodická tabulka v češtině. Kromě základních fyzikálních údajů obsahuje i krátké popisy jednotlivých prvků. Tyto údaje se objevují po kliknutí na políčko prvku. Stránky jsou bohužel programovány pro starší počítače, na monitorech s velkým rozlišením se tabulka zobrazuje jako neadekvátně malá. Ze stránek je možné si stáhnout i program „Periodická tabulka“, který představuje interaktivní periodickou tabulku, kde je možné vizualizovat různé vlastnosti prvků. Tento program ale pro kvůli svému stáří vykazuje podobné nedokonalosti jako internetová verze, příkladem je její malá velikost.

6.3.3 ptable.com[22]

Tato PTP je mezinárodním projektem, který existuje v nepřeberném množství jazyků, včetně češtiny. V jednotlivých jazycích je stejný obsah, jen je obsah přeložen do daného jazyka. Tato PTP obsahuje kromě základních fyzikálních dat i popisy jednotlivých prvků (ty jsou přejímány z wikipedie), které se zobrazí po kliknutí na příslušné políčko PTP. Kromě toho je tato periodická tabulka prvků interaktivní v tom smyslu, že se zabarvení jednotlivých políček může

měnit podle nastaveného klíče – např. ukazuje, které prvky jsou za nastavené teploty kapalné, plynné nebo pevné. Tato PTP obsahuje velké množství informací, bohužel je poněkud nepřehledná a ne vždy se správně zobrazuje, občas se také na stránkách objeví nepřeložené informace.

6.3.4 <http://www.prvky.com/periodicka-tabulka.html>[23]

Poměrně pěkná PTP v češtině, obsahuje kromě velkého množství fyzikálně-chemických údajů také vyčerpávající texty týkající se vlastností, chemických reakcí, výskytu, výroby a použití prvků. U textů jsou uvedeny citace, dá se předpokládat odborná správnost těchto informací, množství a odbornost obsažených informací pak odpovídá spíše VŠ. Tato tabulka neobsahuje další interaktivní obsah.

6.3.5 Periodická tabulka firmy Merck[24]

Jedná se o interaktivní periodickou tabulku ve formě flash aplikace. Tato aplikace byla spustitelná i z počítače přes internetové stránky, dnes už ale funguje jen jako aplikace pro mobilní telefony a tablety.

Tato PTP kromě nepřehledného množství fyzikálně chemických údajů obsahuje také texty popisující vlastnosti prvků, jejich objevitele. Periodická tabulka prvků obsahuje také množství interaktivního obsahu – možnost filtrování prvků podle vlastností, posuvníky apod.

Obrovskou nevýhodou pro využití ve výuce chemie je ta, že veškeré informace jsou pouze v angličtině.

6.3.6 Periodic Table of Videos[25]

Stránka Periodic Table of Videos (případně YouTube kanál Periodic Videos) je projektem The University of Nottingham, její zvláštností je to, že neobsahuje žádné textové informace o jednotlivých prvcích, ani základní fyzikální data. Ke každému prvku je zde natočeno jedno video, ve kterém některý z chemiků představuje jeho vlastnosti, většinou pomocí chemických pokusů. Tato stránka je spojena se známým žurnalistou a filmařem Brady Haranem[26].

Nevýhodou této PTP pro výuku chemie je opět to, že neobsahuje informace v češtině. Vhodná je ale pro použití v rámci mezioborových vztahů, neboť videa jsou dobře srozumitelná a mluvená rodilými mluvčími.

6.3.7 Periodická tabulka Royal Society of Chemistry[27]

Internetová interaktivní PTP obsahující jak textové informace o jednotlivých prvcích, tak fyzikální údaje a různé interaktivní prvky. Kromě toho je u každého prvku i odkaz na video s informacemi o daném prvku, využívá se zde ale videí zmíněných v minulém odstavci. Nevýhodou periodické tabulky prvků je pak opět absence informací v češtině.

7. VIDEOZÁZNAMY CHEMICKÝCH REAKCÍ

7.1 Experimenty ve výuce chemie

Chemické experimenty by měly být nedělitelnou součástí výuky chemie. A to jak ve formě demonstračních experimentů prováděných učitelem, tak ve formě laboratorních prací prováděných samotnými žáky. Toto je zakotveno i v rámcovém vzdělávacím programu (RVP)[1].

Chemický experiment plní ve výuce chemie řadu funkcí: informativní, formativní, metodologickou a motivační a chemický experiment má velký význam při získávání poznatků o přírodních zákonitostech a reakcích, a proto by měl učitel do výuky zařazovat chemické experimenty co nejčastěji[8]. Chemický experiment má svoje místo při různých fázích výuky, dá se využít jak k motivování žáků či při vysvětlování nového učiva, kdy napomáhá jeho pochopení a fixování, tak i k opakování[28]. Chemickými experimenty lze žáky motivovat k výuce chemie a ukázat jim, jak zdánlivě nudná a nezáživná věda může být krásná a zajímavá.

Vzhledem k tomu, že mnohé školy v dnešních dobách ruší chemické laboratoře kvůli jejich finanční náročnosti[29], není vždy možné chemické pokusy provádět „na živo“[30]. Toto může být ale způsobeno nejen absencí potřebného vybavení a chemikálií, ale i nechutí nebo strachem učitele pokusy provádět[31]. Dalším důvodem může být, že realizovaný experiment je pro učitele nebo žáky potenciálně zbytečně nebezpečný (rizika jeho provedení převažují přínosy). Případně není experiment vzhledem ke stanoveným cílům výuky dostatečně názorný, je například příliš rychlý, nebo naopak příliš pomalý. I videozáznam běžných experimentů je smysluplný, neboť může demonstrovat aspekty (odborné, laboratorní, bezpečnostní) správného provedení experimentu.

7.2 Videozáznamy chemických experimentů

Částečným řešením nastíněného problému mohou být videozáznamy chemických reakcí. Tímto způsobem lze žákům demonstrovat chemické experimenty i v podmínkách, kdy učitel nemá k dispozici náležitě vybavení a chemikálie, popř. se realizace experimentu obává a nebo experiment provedený „naživo“ neodpovídá výukovému záměru a cíli.

Výhodou záznamů chemických pokusů je také možnost záznam kdykoli zastavit, přetočit, zrychlit nebo zpomalit; také odpadá příprava vybavení a chemikálií před vlastní demonstrací chemického experimentu a následný úklid. Prezenci videozáznamů chemických experimentů také napomáhá zvětšující se množství didaktické techniky použitelné pro promítání videozáznamů, které je na školách k dispozici (často na rozdíl od použitelné chemické laboratoře)[30].

Přes všechny tyto nesporné výhody, se ale mnozí autoři shodují, že není možné reálný experiment videozáznamem dokonale nahradit ve všech jeho aspektech[32]–[34].

Jak již bylo zmíněno, trochu jiná situace nastává u těch experimentů, u kterých není pouhým okem postřehnutelná vlastní chemická reakce. Jedná se například o tyto typy chemických experimentů:

- příliš pomalé reakce (např. koroze železa), kdy dochází k pomalé změně probíhajícímu řádově hodiny),
- příliš rychlé reakce (např. výbuch balonku s vodíkem), kdy bez náležitého zpomalení není zřetelný způsob, jakým chemická reakce proběhla,
- příliš malé reaktanty a produkty (např. růst krystalů), které nejsou bez adekvátního zvětšení dostatečně názorné,
- příliš nákladné chemické experimenty (např. rozpouštění zlata v lučavce královské),
- příliš nebezpečné nebo ve škole nerealizovatelné chemické experimenty (např. pokusy s výbušninami, jedy apod.)[30], [35].

To, že některé experimenty nejsou dostatečně názorné, ale nemusí vést k tomu, že by byly ve výuce nepoužitelné, neboť může jít o zajímavé a poučné chemické reakce. Pro tyto typy reakcí je naopak výhodné využití videozáznamu, který po zrychlení/zpomalení/zvětšení znázorní pozorované děje v původním experimentu nezřetelné. Díky tomu se zvětší portfolio chemických reakcí použitelných ve výuce. Je také zřejmé, že videozáznamem lze rychlé či pomalé reakce také doplnit. Na původním (reálně provedeném) experimentu využijeme např. jeho motivační část (hoření, barvy plamenů) a zmíníme některé obecné aspekty (složení směsí, množství látky, rychlost reakce. Pomocí videozáznamu pak doplníme výklad o další, původně nezřetelné či neviditelné prvky.

7.3 Význam videozáznamu ve výuce

Výukový videozáznam je jedinečným učebním materiálem, který přináší následující výhody[36]:

- dopomáhá názornosti výuky,
- vnáší do vyučování moderní prvky,
- působí aktivizujícím vlivem,
- propojuje teorii s praxí a realitou,
- podporuje zájem o samostudium a o studium obecně,
- umožňuje efektivní samostudium a sebevzdělávání,
- dokáže žákům přiblížit složité, nepostřehnutelné a nedosažitelné jevy a situace.

Jak ukázala Plucková[34] ve své práci, při použití videoexperimentů ve výuce chemie dochází u žáků k většímu pochopení učiva, jeho jednoduššímu reprodukování a aplikace samotnými žáky. Z předchozího vyplývá, že nejen chemický experiment, ale i videoexperiment má své místo ve výuce chemie.

Jednou z možností využití videoexperimentů ve výuce je využití jeho potenciálu zaujmout žáky a motivovat je k dalšímu zájmu o prováděné aktivity.

Podle Svobody[32] je motivační experiment takový, který je žáky vnímán jako zajímavý. Jako zajímavý pokus pak označuje takové pokusy, které mají výrazný optický nebo akustický efekt, případně překvapivý průběh. Pro žáky jsou zajímavé takové pokusy, kde dochází ke změnám barvy, vzniku sraženiny, dochází ke zjevnému vývoji tepla či světla, případně k vývoji plynů. Do této kategorie také spadají pokusy, při kterých dochází k výbuchům, vzniku (barevných) plamenů nebo vývoj dýmu. Při motivačním experimentu pak není bezpodmínečně nutné okamžité vyhodnocení získaných informací.

Motivační možnosti videozáznamů chemických experimentů také závisí na jeho délce. Při delší projekci dochází k postupnému upadávaní pozornosti žáků a výsledná aktivace žáků se nedostavuje. I z tohoto důvodu je potřeba videozáznamy vhodně zrychlovat případně zpomalovat.

Podle poměru estetické a odborně chemické složky lze pak videoexperimenty dělit na čistě motivační (potlačena odborná složka na úkor efektu), motivačně-chemické (vyvážený efekt a odborná složka) a videoexperimenty čistě chemické (potlačena estetická složka).

Kromě vizuálního efektu je vždy u videoexperimentu důležitá i vhodná, didakticky i odborně správná interpretace.

7.4 Historie kinematografie

Videozáznam je vlastně série fotografií, které jsou promítány rychle za sebou, až vytváří iluzi pohybu. Úplně prvním pokusem zachytit pohyb jako sérii fotografií provedl v roce 1872 Eadward Muybridge, který pomocí 12 fotoaparátů umístěných podél dostihové trati dokázal, že v určitém okamžiku běhu se kůň nedotýká země[37].

Počátky „pohyblivých obrázků“ neboli filmu můžeme hledat v 90. letech 19. století a jsou spojeny s objevem celuloidu. Z toho bylo možné vyrábět první fotografické filmy, na které se vešlo několik fotografií a nebylo tedy nutné po každé fotografii vyměňovat ve fotoaparátu skleněnou desku. První primitivní „filmy“ jsou spojeny se jmény bratrů Lumièrů, kteří využívali primitivní kameru k natáčení krátkých záznamů, které následně mohli opakovaně promítat.

Využití videozáznamů ve výuce je jen o málo mladší než samotný objev kinematografie. Školy byly prvním místem, kam se videozáznamy rozšířily, když opustily prostředí kin. V roce 1902 představil Charles Urban první výukové filmy, které znázorňovaly líhnutí motýla z kukly či klíčení semen. Kromě filmů natáčených běžnými technikami vytvářel i zpomalené slow-motion videozáznamy, časosběrné (time-lapse) videozáznamy, mikroskopické a podvodní videozáznamy[37].

Pro české školství je pak důležitým milníkem rok 1936, kdy byl videozáznam oficiálně prohlášen Ministerstvem školství a národní osvěty za vyučovací pomůcku a začal být státem podporován. Zpočátku se ve školách využívaly především dokumenty a hrané historické filmy, poměrně málo byly zastoupeny filmy vědecké[36].

S historií se také postupně měnily způsoby distribuce videozáznamů do škol.

7.5 Distribuce videozáznamů.

S tím jak se v průběhu let měnila technika (a didaktická technika), měnil se i způsob distribuce didaktických videozáznamů. Nejprve se jednalo o záznamy na filmových páskách a smyčkách (od roku 1957), s postupnou digitalizací se pak setkáváme VHS kazetami (od 70. let 20. století) a následně s didaktickými videozáznamy na nosičích DVD (zhruba od roku 1980,

u nás až v 90. letech)[31], [37]. Nejmodernějším způsobem je pak distribuce po internetu, kdy video je možné z internetu stáhnout, nebo přehrávat on-line z různých serverů – ať už se jedná o servery organizací zabývajících se didaktikou chemie, tak servery zaměřené na distribuci videí obecně (YouTube, Vimeo).

7.6 Dostupnost digitálních videí chemických pokusů na internetu

Pro jednodušší použití videozáznamů použitelných pro výuku chemie jsou na internetu vytvářeny různé databáze, které sdružují různé videoexperimenty od dané skupiny autorů. Samotné videoexperimenty, které jsou až na výjimky komentované, jsou pak doplněny o různé další informace, chemické rovnice či návody na realizaci natáčených experimentů. Z českých databází můžeme jmenovat databázi na webu studiumchemie.cz[38] nebo databázi Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích[39], [40]. Kromě databází obsahující videa natáčená v češtině existuje nemalé množství databází zahraničních, jejichž studiem se ve své bakalářské práci zabývala Vrzáčková[33].

Jako vhodný způsob distribuce videozáznamů chemických reakcí a videoexperimentů se ukazuje server www.youtube.cz[41], specializovaný server na sdílení videozáznamů. Díky němu lze jednoduše vytvořené videozáznamy sdílet, aniž by bylo nutné vlastnit a spravovat vlastní server. Server pak umožňuje získat různé statistické údaje týkající se sledovanosti[42]. Díky vyhledávači pak lze pomocí vhodně zvolených klíčových slov vyhledat konkrétní videozáznam. Nevýhodou serveru je pak velké množství obsahu, což může hledání nějakého konkrétního obsahu komplikovat.

7.7 Slow-motion, time-lapse, makro videozáznamy

Jak bylo již zmíněno, mnoho experimentů, které by jinak mohly velmi dobře obohatit výuku chemie, neboť demonstrují důležité chemické principy, je nepoužitelných ve výuce chemie. Může to být způsobeno tím, že probíhají příliš rychle a lidské oko (ani běžná videokamera) není schopno zachytit rychlé změny. Pro názornou ukázkou dějů během těchto experimentů se hodí zpomalený záznam, tzv. slow-motion[35].

Slow-motion je speciální filmová technika, která využívá tzv. rychloběžné kamery, tedy kamery, které jsou schopné za sekundu vytvořit více snímků než běžných 25. Tyto snímky jsou pak přehrány běžnou rychlostí (tedy 25 snímků za sekundu – fps – frames per second), což

vede ke zpomalení skutečného děje. Na zaznamenané a zpomalené chemické reakci se může pak ukázat, že neprobíhá pouze v jednom kroku, ale že je například složena z několika po sobě jdoucích dějů. Využití rychloběžných kamer lze kromě zpomalování chemických dějů dobře využít ve výuce fyziky, kde zpomalené záběry napomáhají lepšímu pochopení dějů a motivaci studentů[43]–[48].

Opakem rychlých a nepostřehnutelných dějů jsou reakce, které probíhají dlouhou dobu, a při pouhém pozorování není zřetelně viditelná žádná změna. Názornost těchto typů reakce lze zvětšit využitím zrychlených videozáznamů. Pro tvorbu záznamů dějů, které trvají několik desítek minut, lze využít běžné videokamery a následně zvětšit rychlost přehrávání. Pro tvorbu záznamů dějů, které ale trvají řádově hodiny, až dny je tento způsob tvorby nepřijatelný, neboť běžná filmařská technika není konstruovaná na nahrávání po tak dlouhou dobu a dochází k jejímu přehřívání. Kromě toho není prakticky možné uložit takové množství dat na běžné paměťové médium a v neposlední řadě je poměrně náročné zpracovávat pomocí počítače takovéto objemy dat. Navíc je zbytečné zachycovat a ukládat každou sekundu 25 snímků, když se ve výsledku využije například jediný záběr každých několik minut.

Pro tvorbu extrémně zrychlených videozáznamů byla vyvinuta technika časosběru (time-lapse), kdy se místo videokamery k tvorbě videozáznamu využívá fotoaparát, který je nastavený, aby v určitém časovém intervalu fotografoval danou scénu. Fotografie jsou následně spojeny v jednolitý videozáznam a přehrány běžnou rychlostí 25 fps. Touto speciální filmařskou technikou je možné zachytit například korozi železa nebo pohyb mraků po obloze.

Dalším typem chemických reakcí, které nejsou příliš vhodné pro využití ve výuce chemie, jsou takové reakce, kdy reaktanty a produkty jsou příliš malé, než aby byly okem pozorovatelné. Pro tvorbu těchto reakcí je potřeba využít takovou videokameru, která dokáže dostatečně přiblížit malé objekty (využití makroobjektivu) nebo lze dokonce připojit k mikroskopu. Využití těchto technik tvorby videozáznamů je poměrně běžné v například v biologii.

Všechny dříve zmíněné techniky se běžně využívají pro tvorbu videozáznamů, jejich využití pro tvorbu záznamů chemických experimentů zatím ale není příliš běžné, i když by vedlo k tvorbě zajímavých a názorných videí.

7.8 Dostupnost videoexperimentů natočených speciálními technikami

Zatím co komentované videoexperimenty zobrazující běžné experimenty jsou poměrně běžné jak ve formě speciálních videokazet a DVD určených pro školy, tak ve formě více, či méně amatérských videozáznamů volně dosažitelných na internetu, tak videozáznamů chemických experimentů vytvořených pomocí speciálních filmařských metod je poměrně málo. Toto je pravděpodobně způsobeno poměrně složitým a nákladným způsobem tvorby těchto videozáznamů a nutností přístupu k drahé natáčecí technice.

Při průzkumu serveru youtube.com[41], kde byla hledána klíčová slova chemistry, slow-motion a time-lapse bylo nalezeno jen poměrně málo takových videozáznamů. Videozáznamy chemických reakcí natáčených pomocí speciálních filmařských technik můžeme najít například na kanálech Periodic Videos[49], kde se ale jedná o komentované videozáznamy a záznamy využívající rychloběžnou kameru, či wwwperiodictableru[50], zde se jedná o záznamy poměrně exotických reakcí a fázových přeměn, často za použití technik macro a time-lapse. Nutno podotknout, že různí autoři často nevhodně používají slovo time-lapse i pro záznamy, které byly natočeny pouze běžnou kamerou a zrychleny.

Nutné je také podotknout, že většina nalezených videozáznamů byla horší kvality, videozáznamy nebyly dostatečně didaktické a názorné (příliš mnoho rušivých prvků, nejednoznačně popsáno, co se na záznamu děje), videozáznamy měly často nízké rozlišení, na kterém pak nevyniknou jednotlivé detaily sledovaných videozáznamů.

7.9 Tvorba videozáznamů

Obecně lze tvorbu videozáznamů rozdělit na tři části[36]:

1. preprodukce (přípravná fáze),
2. produkce,
3. postprodukce.

7.9.1 Preprodukce – přípravná fáze

Při této fázi dochází k plánování, dochází k rozhodování o tom, pro jakého diváka je snímek určen, co se vlastně bude natáčet, jak a kde. Důležité je také připravit si co nejpřesněji rozpočet na potřebný materiál, připravuje se nejprve námět následně scénář scénáře – koncipuje se celé ladění filmu, jak budou jednotlivé scény na sebe navazovat, kdo co bude říkat, na co se bude

natáčet. Také se shání materiál na natáčení a přípravu scény. Tato přípravná fáze je na celém natáčení nejdůležitější[36], [51].

V případě, že budeme natáčet pouze krátký a jednoduchý videozáznam jedné reakce, většina preprodukce odpadá. Je potřeba jen rozmyslet jakým způsobem se bude natáčet, v jakém nádobí, jak bude scéna nasvětlena, jaké filmařské techniky se budou využívat apod., promyslet způsoby natáčení, odhadnout časovou náročnost a zajistit veškerý potřebný materiál (natáčecí technika i rekvizity).

7.9.2 Produkce – vlastní natáčení

Jedná se o tu část, kdy je pomocí videokamer zaznamenáván probíhající děj. Zaznamenaný materiál bude následně zpracován a připraven k publikování. Při vlastním natáčení přichází na řadu správná práce s technikou, kdy je potřeba připravit scénu (prostorové rozmístění rekvizit, nastavení světel, nastavení pozadí) a samotná záznamová zařízení (videokamery, záznam zvuku). Při vlastním natáčení je pak potřeba držet se zásad pro práci s kamerou (kompozice, práce s prostorem)[36], [51].

7.9.3 Postprodukce

Poslední částí tvorby videozáznamu je jeho postprodukce, tedy zpracování natočených záběrů, jejich úprava, synchronizace se zvukem, synchronizace kamer, stříh, přidávání titulků a popisů a následné renderování a export vytvořeného videozáznamu. Tato část se již odehrává v počítači ve specializovaných programech. Součástí postprodukce je také distribuce vytvořeného videozáznamu (v případě této práce pak nahrání na servery youtube.com).

8. ADITIVNÍ VÝROBA (ADDITIVE MANUFACTURING) – 3D TISK

Ačkoli možnosti tzv. aditivních technologií výroby prostorových objektů jsou známy již delší dobu, teprve před nedávnem se s rozvojem ICT dostaly 3D tiskárny do povědomí i běžných lidí, nejen technicky založených jedinců. Toto je také způsobeno uvolněním některých patentů, nutných pro výrobu vlastních strojů. Díky tomu se značné množství firem začalo zabývat jejich výrobou a prodejem, díky čemuž dochází k vylepšení technologie jako takové a zároveň ke snížení ceny. Následkem toho se aditivní výroba pomocí 3D tiskáren stala dostupnou běžným domácnostem i školám

Výroba pomocí 3D tiskárny bude vždy dražší než sériová výroba. Pokud ale sériová výroba neexistuje, může být aditivní výroba jediný způsob jak daný objekt vytvořit. Nicméně, i když existuje sériová výroba, je mnohdy vhodné či dokonce nezbytné vytvořit nějaký objekt upravený na míru uživateli, optimalizovat model na míru učiteli nebo žákům (např. s ohledem na mechanickou pevnost). V případě menšího počtu vyrobených kusů je pak výroba modelů pomocí 3D tiskárny téměř vždy levnější než nákup komerčních modelů[52], jejich kvalita pak bude srovnatelná ne-li dokonce lepší.

Samotná výroba pomocí 3D tisku ale s sebou nese různá úskalí, od designu pomůcky až po řešení problémů s 3D tiskárnou.

8.1 Využití 3D tisku ve výuce chemie

3D tiskárna může potenciálně být šikovným nástrojem pro výrobu učebních pomůcek pro výuku. Výhodou je, že učitel není odkázán na modely, které nabízejí prodejci učebních pomůcek, které nemusí vyhovovat vyučovacímu stylu každého učitele. Každý si může připravit pomůcky „na míru“, může si vyrobit takový model, který se mu zrovna hodí velikostí, tvarem nebo strukturou. Bohužel použití 3D tiskárny není úplně přímočaré, na rozdíl od běžné 2D tiskárny nestačí pouze zmáčknout tlačítko „tisk“ a celý proces 3D tisku je komplikován řadou aspektů.

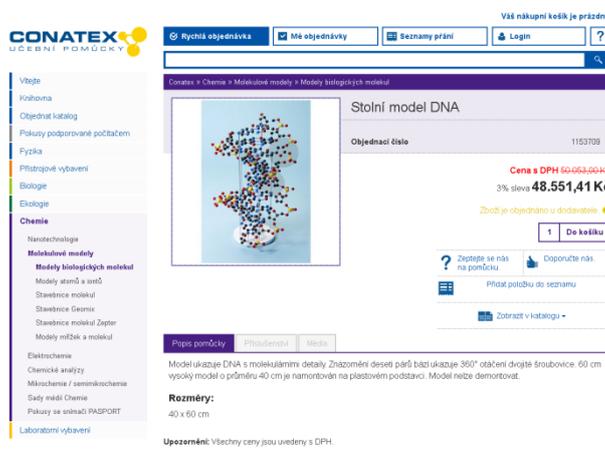
Kromě samotné přípravy modelů pomocí specializovaného softwaru je zdlouhavá i příprava a vývoj samotných tiskových metod (nastavení tiskárny, volba vhodných parametrů tisku, orientace modelu v prostoru, řezání složitých modelů na části apod. – dále viz kapitolu 12.5.2). Na druhé straně, pokud je k dispozici kvalitně připravený model včetně instrukcí

k nastavení 3D tiskárny (které jsou výsledkem vývoje modelu), není nutné tyto parametry experimentálně zjišťovat metodou pokus-omyl. Obrovskou výhodou modelů vytvořených pomocí 3D tiskáren je pak velmi často jejich příznivá cena[53].

8.2 Dostupnost 3D modelů pro výuku chemie

Možnosti jak získat 3D modely pro výuku chemie jsou v zásadě dvě. Prvním způsobem je jejich nákup od specializovaných prodejců, druhým způsobem je pak jejich vlastní výroba.

Průzkumem nabídek asi 20 obchodů zabývajících se prodejem učebních pomůcek pro základní a střední školy bylo zjištěno, že nabídka fyzických modelů pro výuku chemie je v ČR poměrně chabá. Pouze v případě pěti obchodníků jsou nabízeny přímo modely pro výuku chemie[54]–[58]. Cena nabízených modelů se pak pohybuje v řádu tisíc až desítek tisíc Kč (např. Obrázek 2). Navíc odborná správnost některých modelů je na hranici použitelnosti (například model DNA bez malého a velkého žlábků), případně jejich názornost není ideální. Výhodou těchto modelů je pak jejich životnost, zkušenosti ukazují, že při výrobě modelů se počítá s jejich pravidelným a dlouholetým používáním.



Obrázek 2: Nabídka modelu DNA pro výuku chemie od jednoho ze specializovaných prodejců učebních pomůcek.ⁱⁱ

Vzhledem k řečenému by bylo vhodné hledat alternativní zdroje fyzických pomůcek, které by neměly zmiňované nedostatky. V odborné literatuře lze najít mnoho návodů, jak levně vyrobit různé fyzické modely z běžně dostupných materiálů, například modely alotropických modifikací uhlíku vyrobené z víček PET lahví[59], korálků[60] nebo papíru[61]. Modely

ⁱⁱ https://www.conatex.cz/catalog/chemie/molekulove_modely/modely_biologicky_molekul/product-stolni_model_dna/sku-1153709#.WVKbH3GkJJc (navštíveno 26. 10. 2016).

proteinových struktur je pak možné vytvořit z dřevěných kostek[62] nebo izolace na potrubí[63]. Tento způsob výroby ale nevede k příliš kvalitním modelům, při výrobě nelze zaručit přesné prostorové uspořádání jednotlivých atomů v molekulách, stejně tak jako nelze zaručit správné poměry délek vazeb. Diskutovatelná je i stálost a pevnost takto připravených modelů.

Vhodnou alternativou by mohla být výroba pomůcek pomocí 3D tiskárny. Dnes již cena 3D tiskáren klesla na takovou úroveň, že začaly být dostupné i pro běžné uživatele. 3D tiskárny dnes již bývají běžnou součástí výbavy řady škol.

Pomocí 3D tiskárny lze poměrně levně a jednoduše vyrobit učební pomůcky a modely pro výuku chemie a to i takové, které se běžně nevyrábí a nebo jsou finančně nedostupné. Modely se dají také jednoduše individualizovat v závislosti na tom, co daný učitel od modelu vyžaduje. Možnosti využití 3D tiskárny pro výrobu modelů je omezené pouze představivostí a schopnostmi uživatele (učitele) tento potenciál využít.

V odborné literatuře se můžeme setkat s použitím 3D tiskárny na výrobu modelů pro výuku symetrií molekul[64], [65], výuku krystalografie[66], hyperploch potenciální energie pro výuku témat souvisejících s průběhem chemických reakcí[67]–[69], atomových orbitalů[70] nebo molekulových orbitalů organických molekul[71], [72]. Jsou také popsány postupy pro tvorbu modelů z dat získaných rentgenovou strukturní analýzou[73]–[76]. Kromě samotných modelů lze využít 3D tiskárnu na výrobu laboratorních přístrojů, jako je třeba jednoduchý spektroskop[77], na 3D tiskárně se dají vytvořit i náhradní součástky různých zařízení. Využití 3D tiskárny pro výrobu modelů a učebních pomůcek není samozřejmě použitelné pouze pro chemii, dá se využít v biologii a anatomii[52] nebo fyzice[78].

Výzkumy také ukazují, že není signifikantní rozdíl mezi studenty, kteří byli vyučováni pomocí skutečných modelů a modelů vytvořených pomocí 3D tiskárny[79].

8.3 Historie 3D tisku

Proces dnes běžně označovaný jako 3D tisk je soubor technologií známých jako „rapid prototyping“ (rychlé prototypování), „solid free form fabrication“ (volné tvoření tvarů) a „additive manufacturing“ (aditivní výroba)[80]

Při tomto procesu dochází k tvorbě trojrozměrného objektu teoreticky téměř jakéhokoli tvaru (ve skutečnosti ale existují jistá více či méně významná omezení) na základě digitálního

3D modelu zpracovaného počítačem. Základním principem je postupné nanášení a spojování jednotlivých vrstev materiálu dohromady, výsledný objekt je tedy složen z tolika materiálu, kolik bylo použito během tisku, nedochází k velkým ztrátám. Tato technologie je přesným opakem obrábění, při kterém se vychází většího bloku materiálu, ze kterého se následně materiál ubírá (kromě chtěného výsledného produktu je vedlejším produktem nemalé množství hoblin, pilin, odpadu ...).

První stroje zvládající aditivní technologii výroby byly vytvořeny v 80. letech 20. století, tyto stroje využívaly technologii tuhnutí kapalného fotocitlivého polymeru po ozáření ultrafialovým (UV – ultraviolet) zářením. Roku 1984 pak byla patentována tzv. stereolitografie. Ve stejném roce pak Chuck Hull zakládá firmu 3D systems, která na konci 80. let vytváří první komerční 3D tiskárnu dostupnou široké veřejnosti. Tato 3D tiskárna s označením SLA-1 se pak stala základem vývoje dnešních 3D tiskáren – dodnes se pro digitální 3D modely využívá formát *.stl, stejně tak jako technika rozřezávání modelu na vrstvy – slicování[81], [82].

V 90. letech 20. století jsou pak vyvinuty další technologie 3D tisku jako je metoda spékání práškového materiálu pomocí laserového paprsku a technologie extruze roztaveného plastu. V roce 1993 pak Massachusettský technologický institut (MIT) patentoval technologii spojování práškového materiálu pomocí kapalného pojiva (technologie 3DP)[83].

Z druhé poloviny 90. let 20. století pak pochází samotné spojení „3D tiskárna“ (do té doby se používal výraz „Rapid Prototyper“). Dnešní expanze nových technologií 3D tisku je pak způsobena vypršením patentu na 3D tisk metodou extruze roztaveného plastu (FDM – Fused Deposition Modelling)[84]. Tato metoda, původně vynalezená S. S. Crumpem na konci 80. let 20. století se tak dostala do rukou nezávislým vývojářům, kteří dokázali technologii převést i do „domácích“ kutilských podmínek.

8.3.1 Projekt RepRap

Projekt RepRap byl založen v roce 2005 Dr. Adrianem Bowyerem v Anglii na University of Bath. Označení RepRap je zkratka z anglického Replicating Rapid Prototyper (seberekopující 3D tiskárna), jedná se tedy o projekt, který má za cíl vyvinout 3D tiskárnu, která by dokázala vyrobit většinu dílů, které jsou potřeba na stavbu sebe sama (resp. jiné 3D tiskárny). Toto by vedlo ke snížení ceny 3D tiskáren a zpřístupnění technologie 3D tisku pro širokou veřejnost. Prvního úspěchu bylo dosaženo 13. září 2006, kdy prototyp 3D tiskárny

vytvořil část své konstrukce (který byl následně využit na nahrazení stejného dílu původně vyrobeného na komerční tiskárně). První kompletně vytvořenou 3D tiskárnou byla pak v únoru 2008 3D tiskárna RepRap 1.0 „Darwin“. Do září stejného roku bylo pak vyrobeno více než 100 exemplářů této 3D tiskárny po celém světě [80], [85].

Důležitým aspektem tohoto projektu je skutečnost, že veškerá práce na RepRap 3D tiskárnách je realizována pod licencí Open Source a Open Design, veškerá dokumentace k 3D tiskárnám je volně dostupná, stejně jako zdrojové kódy ovládacích programů. Každý si tedy může tiskárnu nejen vyrobit, ale i upravit k obrazu svému. Od doby založení projektu RepRap bylo vyvinuto mnoho modifikací 3D tiskáren na tomto principu, jednou z nejpoužívanějších 3D tiskárna na světě je pak modifikace českého vývojáře Josefa Průši Prusa i3 [82].

Díky tomuto projektu se 3D tiskárny dostaly do povědomí široké veřejnosti a staly se dostupnými stroji [86], [87].

8.4 Technologie 3D tisku

V dnešní době existuje nepřehledné množství 3D tiskáren, jejich funkce je založena na různých principech. Podle způsobu vytváření prostorového objektu se dají 3D tiskárny poměrně jednoznačně zařadit do jedné z kategorií v následující kapitole. Společného tyto technologie mají to, že se objekt tiskne po vrstvách, tedy nejprve je model v počítači rozřezán na jednotlivé vrstvičky, které jsou následně 3D tiskárnou pospojovány k sobě (vlastně se tedy nejedná o pravý 3D tisk, jde o spojení dvou dimenzionálních struktur). Každá z technologií 3D tisku má své výhody a nevýhody. Díky své dostupnosti jsou v současnosti nejpoužívanější již zmiňované FDM tiskárny vytvořené v rámci projektu RepRap.

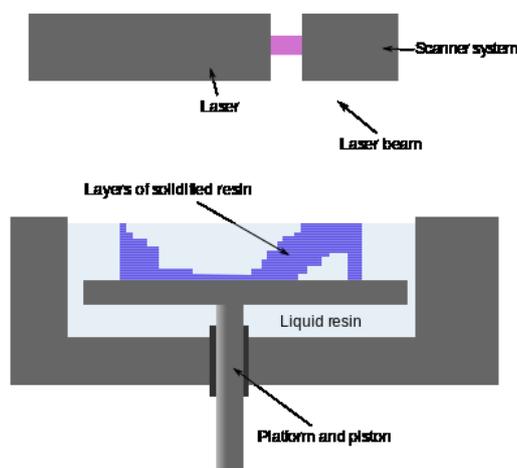
8.4.1 Stereolitografie (SL, SLA)

Stereolitografie (SL, SLA, Stereolithography) je vlastně první použitou technologií 3D tisku, tato technologie byla patentována v roce 1984. Princip této metody spočívá ve vytvrzování fotocitlivého polymeru pomocí UV záření nebo intenzivního viditelného světla.

3D tiskárna se pak skládá z nádoby, ve které je pohyblivá platforma. V této nádobě je nalitá fotocitlivá kapalina. Nad touto nádobou je pak UV laser a otočná zrcadla (případně DLP projektor), která mohou laserový paprsek vychylovat a promítat ho do různých míst nádrže (Obrázek 3). Na začátku tisku vyjede platforma až téměř k hladině tak, že na ní zůstane tenká

vrstva fotocitlivé kapaliny. Laserový paprsek pak na platformu nakreslí průřez první vrstvou objektu. V místech kam dopadne paprsek laseru, dojde k nastartování radikálové polymerizační reakce a ke ztuhnutí polymeru na pevnou hmotu. Poté se platforma o něco málo sníží tak, aby se nad vytvořeným objektem vytvořila tenká vrstva kapaliny. Do této kapaliny je opět laserem nakreslena další vrstva předmětu. Tento postup se opakuje, dokud není vyroben celý předmět. Výsledný objekt je poté z lázně vytažen, očištěn od zbytků fotopolymeru a následně se nechává vytvrdit ve speciální komoře pomocí intenzivního ultrafialového záření[88].

V dnešní době pro tyto tiskárny existuje poměrně široká nabídka různých materiálů – od průhledných přes flexibilní až po materiály vhodné pro použití v zubním lékařství.



Obrázek 3: Schéma stereolitografie. Popisky: Laser – zdroj laserového paprsku, scanner system – systém optických komponent ovládající laserový paprsek, laser beam – laserový paprsek, layers of solidified resin – vrstvy ztuhlé pryskyřice, liquid resin – kapalná pryskyřice, platform and piston – podložka a pístⁱⁱⁱ.

Obrovskou výhodou této technologie je velká přesnost vytvořených modelů, na modelech jsou zřetelné i jemné detaily – tiskárny mívají velké rozlišení. Její nevýhodou je ale práce s toxickými chemikáliemi, které navíc nejsou příliš levné. Další nevýhodou je vysoká pořizovací cena celé 3D tiskárny, která je v řádu stovek tisíc Kč. Levnější modely těchto 3D tiskáren mají oproti jiným technologiím malé tiskové prostory – běžně jen okolo 1 dm³. Další nevýhodou je pak menší mechanická pevnost modelů, které ztrácí svojí pevnost dlouhodobým stáním na světle[82], [89], [90].

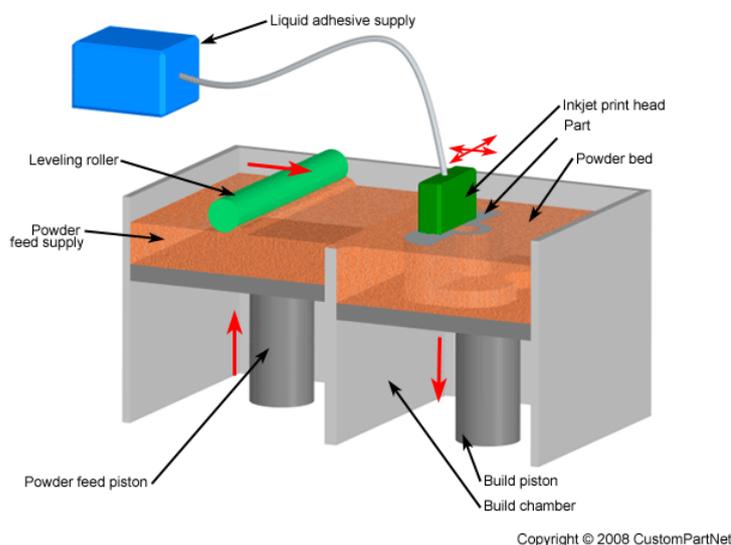
ⁱⁱⁱBy User:Materialgeeza - File:Stereolithography apparatus.jpg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25850809>

Při přípravě digitálních modelů pro tento typ tisku je potřeba počítat s jistými specifiky tisku, není možné například nechat uvnitř objektu dutinu – ta by po vytisknutí byla zaplněna nevytvrzenou pryskyřicí (a nedošlo by tedy k očekávané úspoře materiálu). Při přípravě digitálních modelů k tisku je potřeba též počítat s přidáním tiskových podpor. V případě SLA ale tyto podpory nejsou tak masivní jako například v případě FDM tisku, spotřebuje se na ně menší množství materiálu a lépe se odstraňují.

SLA tiskárny jsou vhodné pro procesy, kde je potřeba zajistit vysokou přesnost modelů a zároveň není nutné vytvářet velké objekty. Pro použití na tvorbu didaktických pomůcek není tato technologie z uvedených důvodů příliš vhodná.

8.4.2 Práškové metody (3DP)

Principem funkce tohoto typu 3D tiskáren je vytváření modelu pomocí spojování tenkých vrstviček práškového materiálu dohromady. Toto může být prováděno pomocí tepla (spékání laserem – tzv. SLS technologie) nebo aplikací lepidla (binderjetting). Práškovým materiálem, ze kterého se při výrobě vychází, může být práškový kov, termoplasty (např. nylon), cukr, sádra ale i keramika nebo sklo.



Obrázek 4: Schéma procesu práškového tisku. Popisky: Liquid adhesive supply – zdroj kapalného pojiva, Inkjet print head – tisková hlava s tiskovým inkoustem, Part – vytvářený díl, Powder bed – podložka s práškem, Leveling roller – zarovnávací válec, Powder feed supply – zásobník prášku, Powder feed piston – píst dodávající prášek, Build piston – píst tiskového prostoru, Build chamber – tisková komora.^{iv}

^{iv} Převzato z <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/3dp.png>

Konstrukce práškové 3D tiskárny je velmi podobná konstrukci SLA tiskáren, jen místo kapalného fotocitlivého polymeru se využívá jemný prášek, který se pomocí válců nanáší v tenké vrstvě do tiskové komory (Obrázek 4).

Čerstvá vrstva prášku je v požadovaných místech spojena dohromady – tisková hlava podobná cartridge inkoustové tiskárny vystřikuje do práškové vrstvy kapalné nebo roztavené lepidlo. Po dokončení jedné vrstvy se dno tiskové komory sníží a je nanesena další vrstva prášku.

Po ukončení tisku se odsaje přebytečný nespojený prášek a model se očistí proudem vzduchu v zařízení podobném gloveboxu (rukavicový box s uzavřeným oběhem vzduchu). Takto vzniklý model je křehký a musí se nechat napustit pojivem a nechat vytvrdit.

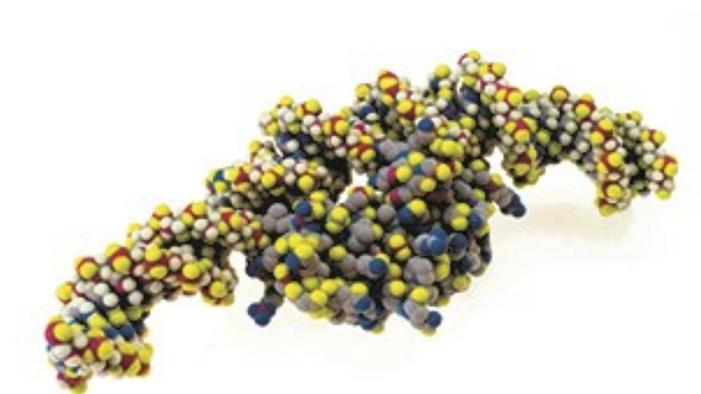
Tato technologie je mimořádně vhodná pro tvorbu složitých tvarů a komplexních objektů. Díky tomu, že je model ze všech stran zahrnut nepoužitým práškem, není potřeba vytvářet žádné tiskové podpory, které jsou komplikací například u FDM tisku. Při programování je ale potřeba počítat s tím, že nelze vytisknout duté předměty, neboť neslepený prášek po vytisknutí předmětu není z dutiny jak vysypat. Modely se 100% výplní jsou pak těžké. Jedná se o univerzální metodu tvorby složitých předmětů, které ve výsledku dobře vypadají, ale jsou křehké – není zde dokonalé provázání materiálu. Pomocí této technologie ale nejdou vytvořit dokonale hladké plochy – kvůli tomu, že se model vyrábí slepováním prášku, jsou stěny vždy matné.

Nevýhodou této technologie je poměrně pomalý tisk, navíc tisk jednoho objektu trvá prakticky stejně dlouho jako tisk několika objektů šikovně naskládaných v tiskovém prostoru. Další nevýhodou je cena tohoto typu 3D tiskáren, která se pohybuje v řádu stovek tisíc až jednotek miliónů Kč, stejně tak práškové materiály používané pro tisk nejsou příliš levné. Nevýhodou je také prostorová náročnost tiskáren, kdy jen samotná tiskárna má velikost větší skříně, na očišťování vytisknutých předmětů a recyklaci nespotebovaného prášku je pak potřeba ještě zdroj tlakového vzduchu. Navíc práce s velmi jemným tiskovým práškem přináší riziko jeho vdechnutí a s tím spojené zdravotní komplikace[82], [83]. Ani tyto tiskárny tak z uvedených důvodů nejsou úplně vhodné pro využití ve školním prostředí.

8.4.2.1 Celobarevné práškové tiskárny

Plnobarevných objektů můžeme dosáhnout tím, že v tiskárně je kromě cartridge s pojivem i barevná inkoustová cartridge známá z běžných inkoustových tiskáren. Ta na určená místa dává barvu a výsledkem jsou celobarevné objekty

Cena tohoto typu 3D tiskáren se pohybuje od cca 500 000 Kč výše, podle velikosti a přesnosti tiskárny. Obrovskou výhodou tohoto typu je možnost vytváření barevných modelů, které nejdou jednoduše vyrobit žádnou z ostatních metod aditivní výroby (Obrázek 5). Ostatní výhody a nevýhody zůstávají stejné jako u běžných práškových tiskáren[52].



Obrázek 5: Molekula DNA vytisknutá na celobarevné práškové tiskárně^v.

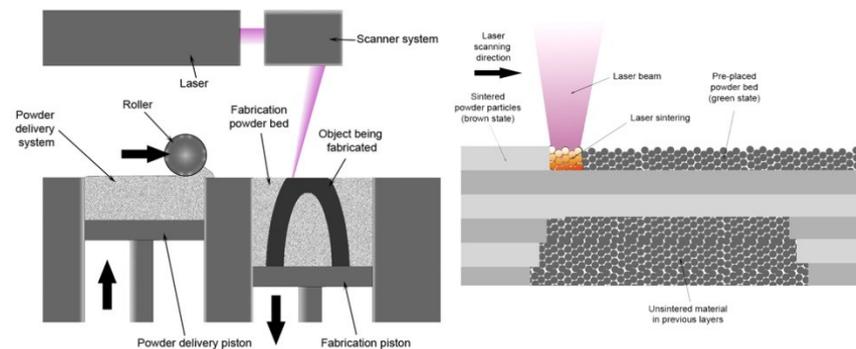
8.4.2.2 Selektivní spékání laserem (SLS)

Selektivní spékání laserem (Selective Laser Sintering, SLS) je technologie využívající silného laseru (většinou CO₂ laser), který selektivně taví práškový materiál. Touto technologií se dá zpracovávat široká paleta materiálů, termoplasty (nylon), kovy, keramika i sklo[91].

Principiálně se jedná o variantu 3DP, kdy místo použití lepidla dojde ke spojení práškového materiálu jeho roztavením a následným ztuhnutím (Obrázek 6).

Velkou výhodou této technologie je široké spektrum použitelných materiálů, které mají ve výsledku různé vlastnosti, tisknout lze například z práškových kovů, výsledné objekty jsou pak velmi pevné[91], [92]. Vzhledem k pořizovací ceně ani tato technologie 3D tiskáren není vhodná pro použití ve školním prostředí.

^v Převzato z https://www.3dsystems.com/sites/default/files/inline-images/3D-Systems_ProJet_CJP_x60_DNA_Strain_300px.jpg



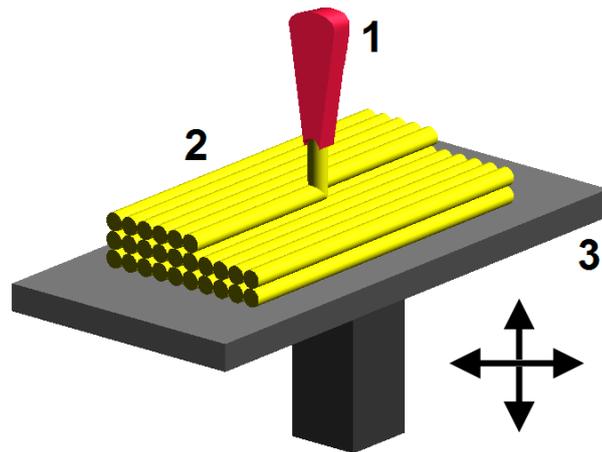
Obrázek 6: Schéma procesu selektivního spékání laserem. Popisky: laser – zdroj laseru, Scanner system – systém ovládající laserový paprsek, Powder delivery system – systém dodávky prášku, Roller – válec, Powder delivery piston – píst dodávající prášek, Fabrication powder bed – podložka pro tvorbu z prášku, Object being fabricated – právě tvořený objekt; Laser scanning direction – směr pohybu paprsku, Sintered powder particles (brown state) – spečené prachové částičky (ve spečeném stavu), Laser sintering – spékání laserem, Pre-placed powder bed (green state) – připravený prášek na podložce (surový stav), Unsintered material in previous layers – nespečený materiál v předchozích vrstvách^{vi}.

8.4.3 Extruze roztaveného materiálu (FFF, FDM)

3D tiskárny využívající technologii extruze roztaveného materiálu (Fused Deposition Modelling, FDM – registrovaná ochranná známka společnosti Stratasys Inc., nebo Fused Filament Fabrication – FFF) pracují na trochu odlišném principu než předchozí zmíněné 3D tiskárny. Zjednodušeně si princip tisku můžeme představit jako tavnou pistoli na lepidlo, která je ovládaná počítačem (Obrázek 7).

Tiskovým materiálem těchto tiskáren je plast ve formě vlákna o průměru 1,75 nebo 3 mm označované jako filamentum. Vlákno je pomocí motoru (extruderu) protlačováno skrz tenkou trysku, zahřátou na teplotu okolo 220 °C. Při této teplotě dochází k roztavení filamentu a plast v kapalném stavu je tryskou vytlačován na tiskovou podložku. Tryska tiskárny je umístěna na pohyblivém rameni, může se vůči podložce pohybovat ve třech osách. Počítač pak řídí vzájemný pohyb podložky a trysky a postupně po vrstvách vytváří z vytlačeného materiálu (který hned po extruzi ztuhne) objekt. Projekt RepRap je založen právě na tiskárnách tohoto typu [80], [82], [84], [93]–[96].

^{vi}By Materialgeeza - Ownwork, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4032088>



Obrázek 7: Princip FDM tisku. 1 – tisková hlava, 2 – extrudovaný materiál, 3 – tisková podložka^{vii}.

Hlavní výhodou tohoto typu 3D tiskárny je její dostupnost, ceny se pohybují od zhruba 15 000 Kč po několik set tisíc Kč. Díky velkému rozmachu FDM a FFF technologií v poslední době je na výběr mnoho různých typů od různých výrobců, stejně dobře dostupný je i tiskový materiál. Nevýhodou této technologie je větší náročnost na přípravu modelů k tisku a následné úpravy po tisku. Vzhledem k tomu, že objekt při tisku není obalen žádným podpurným materiálem, není možné tisknout vcelku některé struktury, nebo se k nim musí vytisknout speciální tiskové podpory, případně se modely musí rozdělit na několik částí, které je potřeba následně slepit. U tohoto typu tisku je také větší zmetkovost, v praxi zhruba 15 %, u různých tvarů je potřeba brát v úvahu různé způsoby nastavení tisku. Každý nový model je pak trochu experimentování s nastavením a podmínkami tisku.

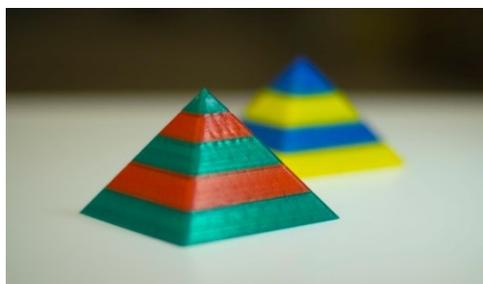
Tento typ tiskáren se nicméně ukazuje jako nejvýhodnější pro použití ve školách, neboť se jedná o poměrně nenáročné stroje s nízkou pořizovací cenou (nejlevnější nesestavené 3D tiskárny se dají pořídit od zhruba 5000 Kč, náročnost jejich seřizování a obsluhy ale odpovídají ceně). Stejně tak cena tiskového materiálu je výhodná, navíc díky velké konkurenci na trhu se dlouhodobě snižuje a je k dispozici mnoho barev a typů materiálu. Tiskárny jsou také poměrně malé a skladné. Vyrábějí se i speciální 3D tiskárny na míru školám určené pro tisk studentů s přístupem na čipové karty[97].

^{vii}By Zureks - Ownwork, GFDL, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5544055>

Vzhledem k finanční náročnosti jiných technologií 3D tisku než FDM, bude v dalším kladen větší důraz hlavně na tuto technologii, která se v tuto chvíli jeví pro využití ve školách jako nejperspektivnější, právě díky nízkým nákladům na tisk a provoz tiskárny.

8.4.3.1 Vícemateriálové FDM tiskárny

Běžné FDM 3D tiskárny jsou vybavené jednou tryskou a jedním extruderem, mohou v daném okamžiku tisknout pouze jedním plastem (jednou barvou). Během tisku lze ale tiskárnu pozastavit a vlákno vyměnit za jiné (Obrázek 8). Tímto způsobem můžeme dospět k objektům, které jsou barevné – obsahují různě barevné vrstvy. Toto může být využito například na zvýraznění kontur na prostorových grafech, což zvýší jejich přehlednost.



Obrázek 8: Barevný objekt vytvořený tak, že byl tisk několikrát pozastaven a vyměněno vlákno^{viii}

Pokud je digitální model vhodně připraven, je možné různě barevných vrstev využít k tvorbě například kontrastních popisků. U rozměrných objektů, je ale vyměňování filamentů nepraktické, neboť musí být obsluha přítomna po značnou část doby tisku.

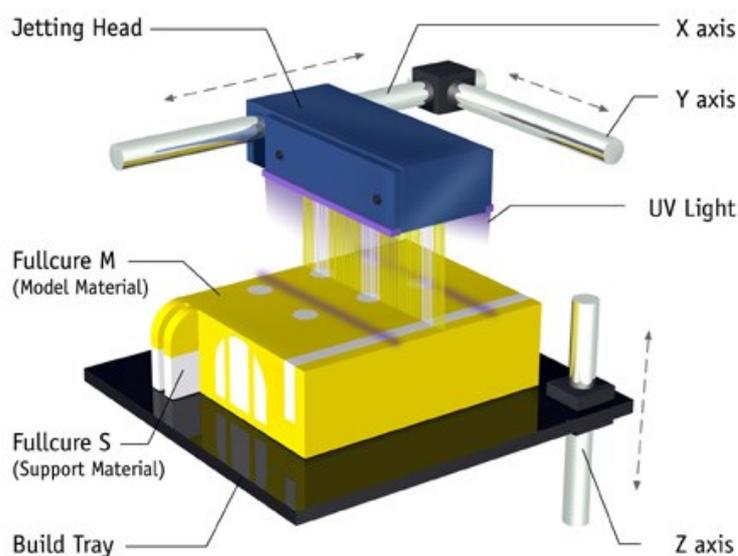
Kromě jednomateriálových FDM 3D tiskáren se vyrábějí i tiskárny, které mají více extruderů a trysek (například upravený CEL Robox nebo 3D tiskárny Ultimaker[98], [99]). Toto umožňuje tisk několik materiálů najednou, je možné vytvářet objekty, které mají různě barevná místa v celém objemu, nejen ve vrstvách. Lze také tisknout ze dvou materiálů lišících se rozpustností. Z méně odolného materiálu se vytisknou různé tiskové podpory, které se následně rozpustí. Toto je nezbytné pro tisk složitějších objektů s vnitřní strukturou.

Speciální variantou jsou pak tiskárny, které mají více extruderů, ale jen jednu trysku, ve které dochází k míchání jednotlivých materiálů. Toto umožňuje vytvářet na tisknutém modelu barevné gradienty. Takovou tiskárnou je například Builder Dual-Feed[100].

^{viii} Převzato z <http://www.3ders.org/images2014/Mosaic-manufacturing-multi-color-3d-printing-1.jpg>

8.4.4 Vícemateriálové tiskárny (Polyjet, Multijet)

Tato technologie umožňuje kombinovat v rámci jednoho modelu nejen různé barvy, ale dokonce různé typy materiálů – od průhledných, po gumové. Všechny tyto materiály se během 3D tisku nanášejí najednou ve formě kapalných prekurzorů pomocí soustavy trysek. Nanesený materiál se ihned vytvrzuje pomocí UV záření (Obrázek 9).



The Objet PolyJet Process

Obrázek 9: Princip vícemateriálové 3D tiskárny. Popisy: Jetting head – hlava s tryskami, X axis – osa X, Y axis – osa Y, UV light – UV světlo; Model material – materiál, ze kterého je vytvořen model, Support material – podpurný materiál, Z axis – osa Z.^{ix}

Tento typ tiskáren je kvůli jejich ceně pro využití ve školách nepoužitelný, je určen pro komerční průmyslové využití.

^{ix} Převzato z <http://4.bp.blogspot.com/-G5VzhPPbOyw/VfEiCkWTNiI/AAAAAAAAAB8s/9FnFFtBLHwU/s1600/PolyJet-Process.jpg>

Praktická část

9. POUŽITÝ MATERIÁL A TECHNICKÉ VYBAVENÍ

Při činnostech souvisejících s řešením této disertační práce byly využity následujícího technického vybavení a materiál.

9.1 Tvorba videozáznamů chemických reakcí

9.1.1 Záznamová technika

Pro zaznamenávání videozáznamů chemických reakcí byla využívána následující technika:

9.1.1.1 Videokamera Sony FS100

Profesionální kamera s výměnnými objektivy. Byla využívána jako hlavní videokamera pro pořizování videozáznamů, byla využívána i pro záznam zvuku z mikrofonů.

9.1.1.2 Videokamera Sony CX130

Běžná „handheld“ kamera, byla využívána jako druhá kamera při natáčení komentovaných videozáznamů.

9.1.1.3 Olympus i-Speed PL

Barevná rychloběžná kamera s vnitřní pamětí 8 GB, používaná s objektivem Zeiss Compact Prime 35mm/T2,1. Tato kamera byla následně vybavena redukcí na připojení objektivů s bajonetem pro objektivy Canon vytvořená pomocí 3D tiskárny.

9.1.1.4 Zrcadlovka Canon EOS 600D

Poloprofesionální digitální zrcadlovka s možností natáčení videozáznamů. Pro natáčení byla vybavena upraveným firmware Magic Lantern[101]. Zrcadlovka byla využívána pro tvorbu časosběrných videí i videozáznamů reakcí.

9.1.1.5 Zrcadlovka Canon EOS 1000D

Digitální zrcadlovka bez možnosti natáčení videozáznamů. Byla využívána pouze pro fotografování časosběrných záznamů. Pro tvorbu časosběrných videí byla zrcadlovka vybavena externím časovačem JJC RS-60E3.

9.1.2 Objektivy

9.1.2.1 Objektiv Canon EF-S 18-55mm f/3,5-5,6 IS II

Základní objektiv využívaný na obou zrcadlovkách a následně i na rychloběžné kameře.

9.1.2.2 Objektiv Canon EF-S 18-135mm f/3,5-5,6 IS

Základní objektiv využívaný na obou zrcadlovkách a následně i na rychloběžné kameře.

9.1.2.3 Objektiv Canon EF 100 mm f/2,8 Macro IS USM

Makro objektiv využívaný na obou zrcadlovkách a následně i na rychloběžné kameře.

9.1.2.4 Objektiv Tamron AF f/4,0-5,6 Di LD Macro

Teleobjektiv a nepravý makro objektiv využívaný na obou zrcadlovkách.

9.1.3 Osvětlení, stativy

9.1.3.1 Studiové světlo Fomei Easy Light-3

Studiová fotografická světla, využívána při tvorbě časosběrných videozáznamů a při práci s rychloběžnou kamerou.

9.1.3.2 Studiové světlo Arri 650W Fresnel

Výkonná stabilizovaná světla, využívána hlavně při práci s rychloběžnou kamerou.

9.1.3.3 Stativ Fomei W-600

Celokovový stativ s velkou nosností a stabilitou, vhodný pro studiovou práci, při použití často přidávána závaží pro zvýšení stability.

9.1.4 Výpočetní technika

Veškerá práce byla zpracována na stolním počítači s následujícími parametry:

- **základní deska:** ASUS Z97-K/USB3.1,
- **procesor:** Intel Core i7 4790K, takt 4,5 GHz,
- **RAM:** 4× Kingston HyperX Savage KHX1600C9DC/8GX, DDR3, 8GB,
- **grafická karta:** NVIDIA GeForce GTX 260,

- **pevné disky:** Kingston SSDNow M.2 2280 SATA 6 Gb/s 120 GB, Western Digital FZEX 1 TB, Western Digital EFRX 4 TB,
- **operační systém:** Microsoft Windows 7 Enterprise.

9.1.5 Software

Na úpravu a střih videozáznamů byl použit program Adobe® Premiere® Pro CS4[102].

Na úpravu fotografií a tvorbu grafiky a titulků byl použit program Adobe® Photoshop® CS4 Extended[103].

Na hromadnou úpravu fotografií byl použit program Zoner Photo Studio 16[104].

Statistické vyhodnocení dat bylo provedeno v programu GNU PSPP[105].

9.1.6 Formáty videa, rozlišení

Při práci s vidokamerami byla nastavena nejvyšší možná kvalita záznamu – FullHD (1920×1080), 50 fps neprokládaně.

Rychloběžná kamera byla nastavena na největší možnou kvalitu (1280×1024) až do rychlosti 2000 fps.

Výsledné videozáznamy byly exportovány při FullHD rozlišení (1920×1080) při 25 fps (odpovídá standardu PAL běžnému v Evropě). Byl použit kodek H.264 při variabilním bitovém toku 10/15 Mbit/s. Videozáznamy byly uloženy v kontejneru mpeg4 (přípona *.mp4).

9.2 Tvorba didaktických modelů pomocí 3D tisku

9.2.1 3D tiskárny

Builder Dual-Feed dvouextruderová jednotrysková FDM 3D tiskárna s možností míchání barev.

CEL Robox FDM 3D tiskárna s nainstalovaným Dual Material kitem pro souběžný tisk dvěma různými materiály.

Ultimaker Original+ jednoextruderová FDM 3D tiskárna.

9.2.2 Tiskový materiál

Pro tvorbu modelů byly využity následující materiály (výrobce – produkt):

- eSUN PLA (různé barvy)
- eSUN Cleaning Natural
- ColorFabb Bronzefill
- Fillamentum PLA (různé barvy)
- InnoFil3D InnoSolve – Natural
- InnoFil3D InnoPET
- NinjaTech - Ninjaflex
- Robox PLA (různé barvy)
- Robox ABS (různé barvy)

9.2.3 Ostatní materiál

Další využívané nástroje na výrobu 3D tisknutých modelů:

- fréza Dremel 4000,
- 3D pero 3Dsimon,
- odlamovací nože,
- malířská špachtle,
- kolíčky na prádlo,
- rydla na linoryt,
- různá lepidla na papír,
- různá lepidla na plasty.

9.2.4 Software

Na úpravu *.stl souborů byl využit program netFabb[106] ve verzi basic (freeware) a private (placená); dále pak program Meshmixer[107].

Digitální modely byly vytvářeny v programu Fusion360[108], OpenSCAD[109], TinkerCAD[110].

Soubory s krystalografickými daty byly upravovány v programech Discovery Studio[111], VMD[112]

Pro generování tvarů molekul na základě kvantově-chemických výpočtů byly použity programy ArgusLab[113], ChemSketch[114] a balík ChemOffice (placený)[115].

Prostorové grafy byly generovány pomocí programu Wolfram Mathematica[116].

Na slicování modelů a přípravu digitálních modelů pro tisk byly použity programy AutoMaker[117], Cura[118], Simplify3D (placený)[119] a Slic3r[120].

10. TVORBA INTERNETOVÉ INTERAKTIVNÍ PERIODICKÉ TABULKY

10.1 Požadavky na funkce vytvořené PTP

Na základě porovnání a analýzy různých PTP dostupných na internetu (viz kapitolu 6.3) a identifikace jejich chybějících, či nevhodně zpracovaných prvků a vlastností byly vytvořeny následující požadavky, které by měla respektovat vytvářená PTP, aby byly eliminovány nedostatky:

- periodická tabulka bude v českém jazyce, aby byla využitelná ve školách v Česku,
- periodická tabulka bude obsahovat fyzikálně-chemické údaje z ověřených zdrojů, aby byla zajištěna odborná správnost celé PTP,
- periodická tabulka bude obsahovat popisy prvků z ověřených zdrojů, aby byl omezen případný vznik miskonceptů u žáků,
- periodická popisy prvků budou na takové odborné úrovni, aby byly pochopitelné pro běžné studenty SŠ a zároveň obsahovaly atraktivní a zajímavé informace,
- periodická tabulka bude obsahovat interaktivní prvky, kterými půjde vizualizovat různé fyzikálně-chemické vlastnosti prvků, které zvýší možnosti vizualizace jednotlivých vlastností,
- periodická tabulka bude obsahovat pouze vlastnoručně vyrobený materiál, aby nebylo nutné se vázat k cizím subjektům kvůli autorským právům,
- periodická tabulka bude obsahovat videozáznamy popisující typické chemické reakce prvků, tyto záznamy pak povedou k větší motivaci žáků ke studiu chemie,
- videa chemických reakcí budou samostatně dostupná i mimo stránky vlastní periodické tabulky, budou volně dostupná na internetu,
- tabulka bude provozovaná tzv. na vlastním webu (doména 2. řádu) z důvodu jednoduchého a jasného názvu internetových stránek, které půjde jednoduše zapamatovat.

Na základě těchto požadavků pak byla vypracována internetová interaktivní PTP.

10.2 Zdroje dat pro PTP

Jako důvěryhodné zdroje fyzikálně-chemických dat pro periodickou tabulku prvků byly považovány odborné recenzované učebnice anorganické chemie[15], [121]–[123] a vysokoškolská skripta[124], případně informace získané z webových stránek IUPAC[125].

Texty popisující vlastnosti jednotlivých prvků byly vytvořeny na základě informací ze zmíněné literatury.

10.3 Tvorba internetových stránek s PTP

Na základě uvedené analýzy a definovaných požadavků byla vytvořena internetová stránka s interaktivní periodickou tabulkou prvků. Aby webová stránka byla dostatečně atraktivní pro její uživatele, byla tato webová stránka na základě návrhu a diskuze designu a autora práce vytvořena prostřednictvím odborné firmy. Rozložení (wireframe) stránky vytvořila firma Emphatic[126], vlastní systém pak vytvořila firma 1st ART studio[127]. Design stránky byl volen tak, aby zapadal do vizuální identity projektu přírodovědci.cz[128]. Z dostupných možností pak byla pro přístup k webové stránce zaregistrována doména chemickeprvky.cz[129], jedná se tedy o doménu druhého řádu, jejíž adresa je snadno zapamatovatelná a jednoduše dohledatelná na základě využití klíčových slov vztahujících se k charakteru internetové stránky. Další aspekty vytvořené periodické tabulky jsou popsány v následujícím textu.

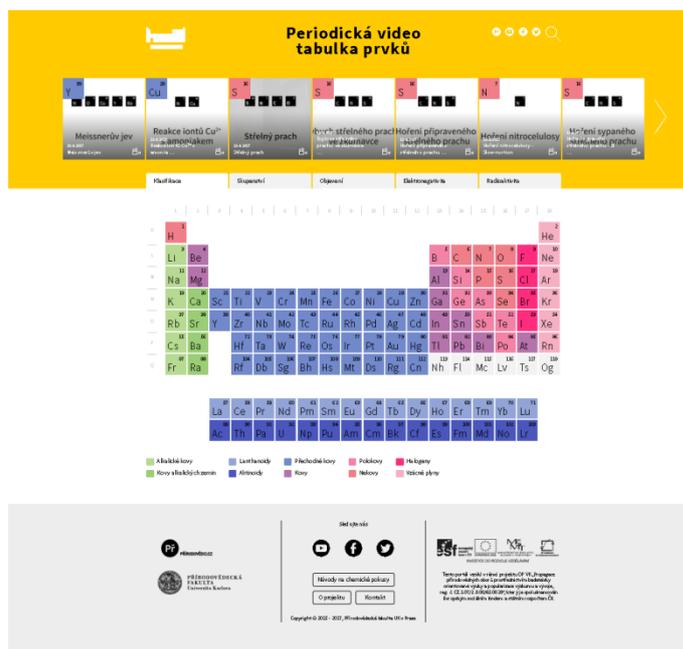
10.3.1 Rozložení hlavní stránky

Na základě návrhu a diskuze s odbornou firmou bylo rozložení hlavní stránky navrženo tak, že uprostřed je v centru pozornosti umístěná samotná periodická tabulka prvků, kde v jednotlivých políčkách jsou značky prvků a protonové číslo, barva jednotlivých políček je pak závislá na nastavení různých interaktivních prvků (Obrázek 10). Nad tabulkou je pak nabídka interaktivních prvků, dole pod tabulkou jsou možnosti toho, co lze aktuálně v dané tabulce zvýraznit. V záhlavní stránce je pak lišta s nejnovějšími přidanými videi chemických reakcí, v záhlaví pak informace o webových stránkách.

Po kliknutí na políčko chemického prvku se pak objeví nová stránka s informacemi o prvku. Tato stránka uprostřed zobrazuje vlastní informace o zvoleném prvku, na horní liště této stránky je pak možné vybrat informace, které mají být zobrazeny:

- základní informace – texty,
- fyzikální vlastnosti – tabulka s údaji,
- objev prvku – zajímavost o tom jak byl prvek objeven,
- obrázky – fotografie prvků (není dostupné pro všechny prvky),

- prvková videa – videozáznamy reakcí, ve kterých se daný prvek nebo jeho sloučeniny vyskytují.

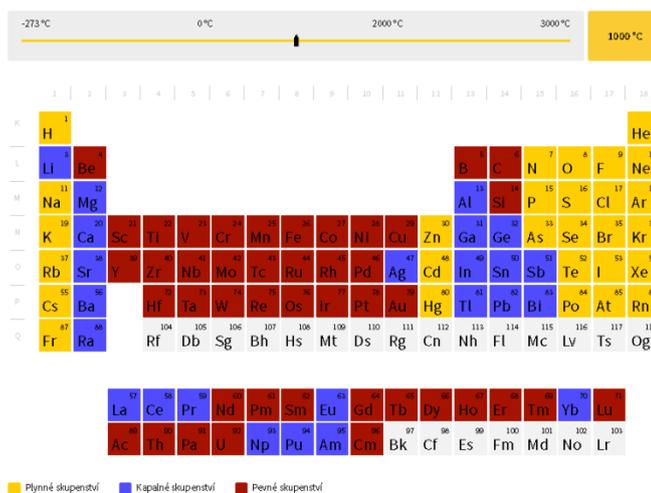


Obrázek 10: Rozhraní webové stránky chemickeprvky.cz – hlavní stránka.

10.3.2 Interaktivní prvky

Pro interaktivní periodickou tabulku byly navrženy následující interaktivní prvky:

- klasifikace – po najetí kurzorem na název skupiny (alkalické kovy, lanthanoidy, aktinoidy, ...) se v periodické tabulce zvýrazní tyto prvky,
- skupenství – na základě teploty nastavené pomocí posuvníku se přebarví jednotlivé prvky v periodické tabulce a svou barvou znázorní, zda jsou při nastavené teplotě plynné, kapalné nebo pevné (Obrázek 11),
- objev prvku – na základě roku nastaveného pomocí posuvníku se zvýrazní ty prvky PTP, které v té době již byly objeveny,
- elektronegativita – na základě elektronegativity nastavené pomocí posuvníku se zvýrazní ty prvky periodické tabulky, které mají větší elektronegativitu, než tu, která je nastavená
- radioaktivita – po najetí kurzorem na označení radioaktivní nebo neradioaktivní se zvýrazní v periodické tabulce příslušné prvky,
- informace o prvku – po najetí kurzorem na prvek se objeví nad periodickou tabulkou základní informace o prvku, jako je jeho název v češtině, latině a angličtině, jeho atomová hmotnost, teplota varu a tání; po kliknutí na prvek se otevře stránka s dalšími informacemi.



Obrázek 11: Rozhraní webové stránky chemickeprvky.cz – interaktivní prvek skupenství.

10.3.3 Základní informace o prvcích

Základní informace o prvcích obsahují informace o původu názvu prvku, jeho vlastnostech, výskytu, výrobě a přípravě, jeho použití a zajímavosti (Obrázek 12). Tyto údaje jsou v rámci tabulky dostupné ve formě krátkých textů. Texty byly vytvořeny tak, aby byly pochopitelné pro běžného studenta SŠ, nebyly tedy příliš odborné, a aby v sobě nesly určité zajímavosti, například o nečekaném použití prvků nebo jejich zvláštních vlastnostech.

The screenshot shows the web page for Carbon (Uhlík). The header includes the element symbol 'C', atomic number '6', and name 'Uhlík (Carboneum, Carbon)'. It also lists the boiling point (3550 °C) and melting point (4627 °C). Below the header are tabs for 'Základní informace', 'Fyzikální vlastnosti', 'Objev prvku', 'Obrázky', and 'Prvkové video'. The main content area is titled 'Uhlík' and contains several sections: 'Původ názvu', 'Vlastnosti', 'Výskyt', 'Výroba a příprava', 'Použití', and 'Zajímavosti'. Each section contains a short paragraph of text. There are also two images: one showing a pile of black carbon powder and another showing a piece of graphite.

Obrázek 12: Rozhraní webové stránky chemickeprvky.cz – informace o prvcích – základní informace.

10.3.4 Fyzikálně-chemické vlastnosti prvků

Fyzikálně-chemické vlastnosti prvků jsou demonstrovány ve formě tabulky (Obrázek 13).

Uhlík
(Carbonium, Carbon)
12, 0107

teplota tání: 3550 °C
teplota varu: 4827 °C

zpět na tabulku

Základní informace | Fyzikální vlastnosti | Objev prvku | Obrázky | Prvková videa

Uhlík

skupina	14	je radioaktivní	ne
perioda	2	teplota tání	3550 °C
blok	p	teplota varu	4827 °C
název skupiny	leťelky	hustota při 20 °C	0,51
kovový charakter	Nekovy	elektronová konfigurace	1s ² 2s ² 2p ²
atomová hmotnost	12,0107	elektronová konfigurace zkráceně	[He] 2s ² 2p ²
elektronegativita	2,5	atomový poloměr	67
stabilní izotopy	2	běžná oxidační čísla	-4, 2, 4
radioaktivní izotopy	1		

Obrázek 13: Rozhraní webové stránky chemickeprvky.cz – informace o prvcích – fyzikálně-chemické údaje.

10.3.5 Prvková videa – videozáznamy chemických reakcí

Poslední (a nejdůležitější) částí periodické tabulky jsou videozáznamy reakcí prvků a jejich sloučenin. Tyto videozáznamy se dají rozdělit na 4 skupiny – komentované videozáznamy, slow-motion videozáznamy, časosběrné videozáznamy a makro videozáznamy. Výrobou těchto videozáznamů se zabývá další část této práce (viz kapitolu 11).

Videozáznamy jsou uloženy na serverech služby youtube.com a do periodické tabulky jsou vloženy rámce, které umožňují jejich přímé přehrávání. Princip je takový, že každý videozáznam je přiřazen jednomu nebo více prvkům, které ve videozáznamu hrají důležitou roli. K jednomu videozáznamu tak může vést cesta od několika různých prvků.

Ke každému videozáznamu byl také vytvořen text, který vysvětluje, co se v daném videozáznamu děje a jak byl videozáznam pořízen, případně je text doplněn o chemickou rovnici děje. Tyto texty se zobrazují na stránkách periodické tabulky pod videem a jsou čitelné i bez nutnosti spustit přehrávání videa (Obrázek 14).

Upoutávky na nejnovější videozáznamy prvků jsou pak na hlavní stránce v záhlaví, odkud je možné je rovnou spustit.


 Uhlík C
 (Carboneum, Carbon)
 12,0107

teplota tání: 3550 °C
 teplota varu: 4827 °C

[← zpět na tabulku](#)

[Základní informace](#) | [Fyzikální vlastnosti](#) | [Objev prvku](#) | [Obrázky](#) | [Prvková videa](#)

Uhlík



Střelný prach

Střelný prach

Zatímco evropská kychymtění se za bývali hlavně pokusy o písemně běžných kovů ve záře, číši a kychymtění se pokoušeli o vytvoření praprášku prodlužující život. V rámci svého bádní ale dospěli k praprášku, který dokáže život a dřevěného uhlí se postupně vžilo označení střelný prach.



Výbuch střelného prachu ve zkumavce

Exploze střelného prachu ve zkumavce - Slow-motion

Střelný prach je jemně rozemletý směs dřevěného uhlí, dusičnanu draselného. Pokud je toto směs volně nasypán na podložku a za pálena, mírumilovně (i když poměrně rychle) shoří. Jinak tomu je, pokud je střelný prach za pálení umístěn nábojnice ve střelné zbraňi nebo v malé plastové zkumavce, která nábojnicí na podobuje. Díky uzavřenému prostoru začne ihned po za pálení uvnitř zkumavky prudce narůstat tlak, jak přibývá jí zplodiny hoření. Také teplo vznikající při reakci se kumuluje uvnitř a přispívá ke zrychlování reakce. Volně směsí, kdy je umístěn zkumavky (nábojnice) tlak natolik vysokej, že ho nedokáže stěny zkumavky vydržet, zkumavka praskne, a do okolí se rozletí zbytky střelného prachu, který není hořící. V případě nábojnice dopde k vystřelení náboje.

Natočeno rychloběžnou kamerou při 10 000 fps (400x zpomalené).

Na záznamu je jasné patrné, že nejprve se chemická reakce pomalu šíří skrz střelný prach, rychlost šíření ale rychle roste až zkumavka vybuchne.



Hoření připraveného střelného prachu

Hoření připraveného střelného prachu - Slow motion

Černý střelný prach je směs dřevěného uhlí, síry a dusičnanu draselného. Při průmyslové výrobě střelného prachu se tyto ingredience dlouhé hodiny melou, lesují a následně drtí, aby došlo k dokonalému promíchání. Pokud jednotlivé ingredience pouze volně sesypeme a vzniklou směs za pálení, obta ne střelný prach, který hoří jen pomalu a nevybuchuje.

Natočeno rychloběžnou kamerou při 600 fps (24x zpomalené).

Na záznamu je dobře viditelné pomalé přesouvání reakční zóny a v velkého množství pevných produktů hoření (bílý dým).

Obrázek 14: Rozhraní webové stránky chemickeprvky.cz – videozáznamy chemických reakcí prvků a jejich popisy

11. TVORBA VIDEOZÁZNAMŮ CHEMICKÝCH REAKCÍ

Na základě informací o dostupnosti videozáznamů různých chemických reakcí popsaných v kapitole 7.8 byly vybrány vhodné chemické pokusy, které je možné zařadit do jedné z následujících kategorií:

- zajímavé a ve škole obtížně proveditelné pokusy zaznamenané jako komentované videozáznamy,
- rychlé chemické děje, na videozáznamu zpomalené,
- pomalé chemické děje, na videozáznamu zrychlené,
- chemické děje s probíhající s velmi malým množstvím reaktantů a produktů.

U každého z těchto chemických dějů byl navržen způsob, jakým bude daný děj natočen tak, aby došlo ke zvýraznění důležitých skutečností, které by vedly k maximální názornosti při prezentaci daného experimentu. Kromě způsobu natáčení (výběru vhodné filmařské techniky) bylo vybráno i vhodné nastavení scény (např. vhodné nádoby), nasvětlení apod. Na základně navrženého postupu pak byl videozáznam vytvořen a zpracován do formy výsledného snímku. Seznam vybraných experimentů spolu s označením využití filmové techniky je součástí práce jako Příloha 1, vyrobené videozáznamy jsou uloženy na nosiči DVD, který je součástí této práce (Příloha 8), tamtéž jsou také uloženy popis jednotlivých videozáznamů.

Co se odbornosti týče, vytvářené videozáznamy mají patřit do kategorie motivačně-chemických videozáznamů, u kterých je vyvážen motivační efekt a odborná složka záznamu[32]. Tedy, obsah videozáznamu experimentu je po odborné stránce správný a pravdivý, nicméně, použitá terminologie i jazyk odpovídají cílové skupině.

11.1 Požadavky na videozáznamy

Na základě analýzy vyhledaných a shlédnutých videozáznamů a odhalených nedostatků byly vytvořeny požadavky na vytvářené videa, jejichž dodržování má vést ke vzniku kvalitních, didakticky správných, esteticky zpracovaných a názorných videozáznamů vhodných pro motivaci studentů:

- Vytvořené videozáznamy by měly být krátké, aby neupadávala pozornost žáků při sledování zdlouhavých videozáznamů. V případě komentovaných videí byla za rozumný kompromis určena délka kolem 3 minut, v případě nekomentovaných videozáznamů byla za rozumný kompromis určena délka okolo 1 minuty.

- Záznam příliš pomalých experimentů bude zrychlen, záznam příliš rychlých experimentů bude zpomalen tak, aby došlo ke zvýraznění probíhajících dějů a zároveň byl splněn předchozí bod týkající se doporučené délky videozáznamu.
- Při tvorbě videozáznamů by mělo být nastavení scény takové, aby vzniklo dostatečně kontrastní prostředí, na kterém budou zřetelně vidět veškeré projevy zaznamenané chemické reakce. Takto vytvořené snímky pak budou dobře použitelné i s opotřebovanou, případně kvalitativně horší promítací didaktickou technikou (nižší rozlišení, méně věrné podání barev, malá svítivost).
- Vytvořené videozáznamy mají být na dostatečné estetické úrovni, znázornění chemického děje musí být takové, aby posluchače nenudilo a bylo zajímavé.
- Ve vytvořených videozáznamech musí být naprosto jednoznačně indikován chemický děj, který se má odehrávat, v záběru by měly být potlačeny veškeré jevy, které nesouvisí se zkoumaným dějem. Jedná se například o pohyb osob na pozadí nebo pohybující se odlesky na lesklých plochách.
- U záznamů, které doprovází zvuková stopa, by měl být zvuk zaznamenan tak, aby byl srozumitelný bez zbytečných ruchů a šumů. Zvuk musí být přesně synchronizován s obrazem a musí být dostatečně kvalitní.
- Videozáznamy by měly být natáčeny tak, aby byly eliminovány chyby při pohybu kamery – její třesení, rychlé přecházení mezi různými objekty, nedodržování horizontály. Pokud to bude možné, měly by chemické experimenty být natáčeny ze stativu nebo za použití různých stabilizačních mechanismů.
- Videozáznamy by měly být vytvořeny v co nejvyšší možné kvalitě (rozlišení, počet snímků za sekundu) bez ohledu na náročnější úpravy a náročnost na objemy získaných dat. Takto vytvořené videozáznamy bude pak možné využívat delší dobu, než zastarají pro svou malou obrazovou kvalitu. Jako aktuální standard bylo použito rozlišení FullHD.
- V neposlední řadě je pak u vytvářených videozáznamů nezbytná jejich odborná správnost, aby byly zaznamenané jevy odborně správně interpretovány, a aby byly použity pouze záznamy skutečnosti, nikoli vykonstruované děje.

Aplikace těchto pravidel bude diskutována na několika konkrétních případech.

11.2 Tvorba titulků

Na základě návrhu designera byla pro všechny videozáznamy zvolena jednotná vizuální identita, kdy na začátku videa je logo chemickýchprvků.cz, následně je zobrazen název experimentu a prvky, ke kterým se dané video vztahuje (viz Obrázek 15). V případě

zpomalených nebo zrychlených reakcí následuje informace o míře zrychlení či zpomalení videozáznamu. Po těchto titulcích následuje vlastní videozáznam, na konci je pak zobrazena informace o zdroji videozáznamů a poděkování financování. Celý videozáznam pak končí opět logem webu chemickeprvky.cz.



Ukázka citlivosti směsi KClO₃ a červeného fosforu

Obrázek 15: Titulek videozáznamu s označenými prvky, ke kterým se videozáznam vztahuje v PTP.

11.3 Tvorba komentovaných videozáznamů

Tyto videozáznamy jsou inspirovány komentovanými popisy jednotlivých prvků a jejich sloučenin vytvářených na půdě University of Nottingham v rámci projektu Periodic Table of Videos[25]. Tyto komentované videozáznamy mají za úkol posluchači přiblížit a vysvětlit určité (zajímavé) vlastnosti nebo chemické reakce chemických prvků. Toto je realizováno způsobem, kdy „herec“ před kamerou provádí a komentuje chemické děje, ve videích je případně využit zpomalený/zrychlený/zvětšený záznam chemické reakce.

11.3.1 Důvody pro použití komentovaných videozáznamů

Cílem komentovaných videí je přiblížit divákovi chemické vlastnosti různých prvků a jejich sloučenin. Jsou vybírány takové prvky a reakce, které jsou něčím zajímavé, a zároveň se jedná o pokusy, které jsou nebezpečné nebo v běžně vybavené laboratoři neproveditelné (např. práce se rtutí, příprava pevného dusíku, odpálení střelného prachu...). Komentář zajišťuje interaktivitu a snaží se připoutat pozornost diváka.

11.3.2 Tvorba komentovaných videozáznamů

Komentovaná videa byla vytvářena spolu s profesionálním filmařem Jindřichem Filou, který vedl natáčení a zajišťoval, že výsledné krátké filmy jsou dobře zpracované v souladu

s filmařskými zásadami. Filmař v případě některých snímků vystupoval zároveň v roli scénáristy, režiséra, kameramana i střihače; měl na starosti práci s natáčecí technikou a následný střih a post-processing. Na základě jeho doporučení a blízké spolupráce byly vytvářeny zjednodušené scénáře tak, aby byla zachována jak odborná správnost demonstrovaných jevů, tak aby byly filmy zpracovány kvalitně a působily požadovaným způsobem na diváka.

Při vlastním natáčení pak byly používány dvě videokamery – jedna statická (na stativu, zabírá celou scénu) – většinou videokamera Sony FS100 a druhá videokamera pak zabírala detaily (handheld – z ruky) – většinou videokamera Sony CX130. Nastavení obou kamer bylo před započítím natáčení upraveno tak, aby byly obě kamery nastaveny stejně (rozlišení, počet snímků za sekundu, vyvážení bílé). Toto opatření je důležité pro střih, kdy není potřeba surové záběry konvertovat a tento postup vede k videozáznamu s maximální možnou obrazovou kvalitou.

Zvuk byl zaznamenáván na videokameru Sony FS100, která umožňuje ukládat dvě zvukové stopy naráz. Jednou stopou pak byl zvuk snímáný mikroportem umístěným na komentátorovi a zdrojem druhé stopy pak byl ruchový směrový mikrofon. Tyto stopy pak byly ve výsledném videozáznamu složeny dohromady.

Osvětlování scény bylo realizováno pomocí světel Arri 650W Fresnel umístěných na vlastních stativcích a použitím diodové desky neznámého výrobce. V případě natáčení v exteriérech byla pak použita odrazná deska k usměrnění slunečního záření do požadovaného směru.

Střih a úprava natočeného videomateriálu a vůbec celý post-processing pak byl doménou filmaře, autor byl seznámen až s hotovými snímky, u kterých následně v případě potřeby docházelo k úpravám tak, aby splňovaly odbornou přesnost a správnost.

11.3.3 Modelový příklad – Hoření vodíku

Krátký komentovaný videozáznam na téma „Hoření vodíku“ je inspirováno historickým využitím vodíku jako plynu vhodného k plnění vzducholodí. Videozáznam pak posluchače seznamuje s vlastnostmi plyného vodíku a jeho reaktivitou. Videozáznam pro větší názornost obsahuje kromě záznamů reakcí v reálném čase také záběry zpomalené pomocí rychloběžné kamery (slow-motion). Tyto záznamy jsou pak v rámci krátkého filmu komentovány komentátorem (voiceover).

11.3.3.1 Námět

Tento videozáznam má za úkol demonstrovat reakci vodíku s kyslíkem v různých poměrech a demonstrovat nemožnost zapálit balonek s čistým vodíkem zevnitř. Dále demonstrovat hoření balonku s vodíkem a s kyslíkem na vzduchu a následně detonaci směsi vodíku a kyslíku. Ukázalo se, že tyto reakce zaznamenané na běžnou kameru nedokáží demonstrovat všechny aspekty, které jsou s touto chemickou reakcí spojeny. Pro její lepší názornost byly tedy využity záznamy zpomalené, na kterých jsou dobře patrné jednotlivé fáze hoření čistého vodíku (prasknutí balonku, „vylití“ jeho obsahu, smíchání vodíku se vzduchem a následné hoření) a hoření směsi vodíku s kyslíkem (okamžitá detonace)[43]. Tyto zpomalené jevy dobře vysvětlují principy týkající se hoření obecně a bez použití rychloběžné kamery a zpomalení tohoto děje by byl žák nepochybně ochuzen.

11.3.3.2 Scénář

Vytvořený scénář je k dispozici jako Příloha 2.

11.3.3.3 Natáčení

Vlastní natáčení probíhalo na půdě PŘF UK, kdy po nastavení veškeré techniky byly natáčeny a opakovány jednotlivé scény, natáčení probíhalo na dvě kamery, v případě zpomalených záběrů pouze na kameru rychloběžnou (dále viz kapitolu 11.4.2). Z natočených materiálů byly vybrány kvalitní a vydařené záznamy, které byly sestříhány do podoby konečného videozáznamu.

11.4 Tvorba časoběrných (time-lapse) záznamů

Jako časoběrné (time-lapse) jsou označovány takové videozáznamy, které ukazují skutečnost extrémně zrychlenou. Na rozdíl od natáčení běžných záznamů je pro tvorbu časoběru často využit fotoaparát s odpovídajícím software nebo je elektronicky ovládán.

11.4.1 Důvody pro použití časoběrných záznamů

Časoběr (time-lapse) je technika, která umožňuje extrémní zpomalení natáčených jevů. Jedná se vlastně o sérii fotografií určitého objektu, které jsou pořizovány s určitým (konstantním) časovým intervalem. Tyto fotografie jsou následně složeny do jednoho

záznamu, který je přehrán rychlostí běžnou pro normální videozáznamy, tedy 25 nebo 30 snímků za sekundu.

V případě chemických reakcí lze takto vytvářet zrychlené videozáznamy extrémně pomalých dějů, kdy pouhým okem není zaznamenatelné, že se něco děje. Po zrychlení takových dějů se může ukázat, že se nejedná o jednoduché děje. Příkladem těchto dějů může být reakce záměnná, tedy reakce kovové rtuti a dusičnanu stříbrného, při které vzniká kovové stříbro a dusičnan rtuťnatý. Až po zaznamenání reakce pomocí časosběru a jejím zrychlení vyjde najevo, že tato reakce má několik fází, kdy dochází k různým změnám.

11.4.2 Postup tvorby

Při tvorbě videozáznamů speciální filmařskou technikou časosběr (time-lapse) se místo běžné videokamery využívá fotoaparát. Ten je nastaven tak, aby po určitých časových intervalech zachycoval jednotlivé fotografie scény. Základem je, že použitý fotoaparát musí umožňovat manuální nastavení jednotlivých parametrů zaostřením počínaje, časem závěrky konče (proto byly používány digitální zrcadlovky Canon EOS 600D a Canon EOS 1000D s různými kompatibilními objektivy).

Vytvořené fotografie se nejprve upraví (změna velikosti, barevnosti, světlosti, apod.) pomocí počítačového programu (osvědčil se program Zoner Photo Studio 16, který zvládne úpravu a zpracování mnoha fotografií najednou v rámci jedné fronty). Takto upravené fotografie jsou následně složeny v jeden videozáznam pomocí programu na zpracování videozáznamů (osvědčil se program Adobe® Premiere® Pro CS4), případně pomocí specializovaného nástroje. Tento postup se osvědčil více, než upravení videozáznamu přímo v programu na zpracování videozáznamů, kde není tolik možností úprav a nastavení. Vzniklý videozáznam je dále zpracován (stříh, přidání titulků, export).

11.4.3 Technické obtíže a jejich řešení.

Vytváření časosběrných videozáznamů vyžaduje poměrně velkou intervenci od obsluhy fotoaparátu, neboť je při přípravě experimentu potřeba vzít v úvahu mnoho různých vlivů a proměnných ovlivňujících kvalitu výsledného videozáznamu. Každý nevhodně zvolený parametr může vést k opakování několikahodinového „natáčení“.

11.4.3.1 Frekvence snímání

Prvním parametrem, který je nutné vhodně nastavit při přípravě natáčení chemického experimentu je frekvence snímání. Ta je odvislá od předpokládané délky trvání experimentu a chtěné délky zrychleného videa. Frekvence 1 fotografie za minutu odpovídá 1500násobnému zrychlení a 1 minuta výsledného záznamu bude odpovídat 25 hodinám reálného času. Toto je ale poměrně extrémní případ, děje natáčené v rámci této práce měly běžně délku kolem 5 hodin reálného času, což pro výsledné video o délce 1 minuta odpovídá frekvenci 1 fotografie za asi 10 – 15 sekund.

11.4.3.2 Kompozice a osvětlení scény

První skutečností, kterou je potřeba brát v úvahu při vytváření scény, je typ chemické reakce, která má být fotografována. Podle jejího projevu je pak potřeba vybrat takovou kompozici a osvětlení, aby byly zřetelně viditelné ty části, které se při experimentu budou měnit. Pokud bude při reakci docházet ke vzniku světla nebo budou vznikat světlé produkty, je vhodné zvolit tmavé pozadí (osvědčil se černý samet, který díky své struktuře dobře pohlcuje dopadající světlo a výsledkem je dokonale tmavé pozadí). Naopak reakce, při kterých vznikají tmavé produkty, resp. při kterých figurují tmavé látky, je vhodné umístit na světlé pozadí (např. několik vrstev čistého filtračního papíru).

Při vytváření časosběrných záznamů je nezbytně nutné využívat umělé osvětlení a naopak pokud možno zamezit přístupu světla přirozeného. Kvůli tomu, že se jedná o záznam několika hodin reálné skutečnosti, dochází během této doby ke změnám venkovního osvětlení, což se neblaze projevuje na fotografované scéně. Na časosběrném videozáznamu je pak patrná změna intenzity nasvícení v průběhu experimentu, v extrémním případě může být v určitou chvíli scéna úplně přesvětlena přímým dopadajícím slunečním zářením. Pro osvětlování scény se osvědčily fotografická studiová světla Fomei Easy Light-3, která jsou za tímto účelem vyrobena. Jako nevhodné se ukázaly halogenové reflektory z hobbymarketu, které mají kolísavý výkon a produkují teplo.

Při fotografování byla světla používána tak, aby osvětlovala scénu zepředu a z boku, pomocí stínítek pak bylo zamezováno světlu, aby dopadalo na pozadí, aby vzniklé fotografie byly kontrastní a pozadí nebylo rušivé. Při tomto uspořádání je potřeba dát pozor na odlesky světla na fotografovaných lesklých objektech, typicky skleněných nádobách. Tyto odlesky je možné

eliminovat posunutím světél tak, aby se světlo od objektů (a nádob) odráželo pod vhodnějším úhlem.

Pro fotografování reakcí probíhajících v kapalném prostředí nebo v roztocích se neosvědčilo provádění těchto reakcí v nádobách s kulatými stěnami (kádinky, různé baňky). Kvůli prohnutí nádoby a různé optické hustotě roztoku, skla a vzduchu pak dochází k nepřírozené deformaci objektů uvnitř nádob. Z těchto důvodů byly hledány alternativy kulatého chemického nádobí a jako nejpříjemnější se ukázaly spektroskopické kyvety, které mají rovné a průhledné stěny, navíc jsou chemicky odolné. Levnější náhradou pak byla na míru vyráběná malá skleněná akvária lepená pomocí silikonového tmelu o velikosti cca 10 × 1 × 10 cm. Při použití nádob s rovnými stěnami také odpadají problémy s odlesky světél na povrchu, rovné reakční nádoby také zjednodušují ostření.

11.4.3.3 Ostření a nastavení parametrů fotoaparátu

Při vytváření sérií fotografií pro tvorbu časosběrných videozáznamů je nutné přepnout fotoaparát do manuálního režimu, kdy veškeré parametry (clona, čas závěrky, citlivost, zaostření) jsou přesně dané uživatelem. Tímto je zamezeno tomu, aby fotoaparát vyhodnotil po sobě jdoucí fotografie různě, vytvořil různě světlé fotografie, případně by zaostřil na různá místa. Toto by vedlo ke zrychlenému videozáznamu, který by vypadal trhaně a nepěkně. S manuálním nastavením je zajištěno, že se tyto parametry nebudou v průběhu experimentu měnit.

S tímto je ale spojeno úskalí, kdy obsluha musí správně odhadnout, jakým způsobem se bude scéna během experimentu měnit, zda bude na konci experimentu světlejší (pak je potřeba fotoaparát nastavit tak, že první snímky jsou podsvětlené – tmavé), nebo kterým směrem se bude scéna měnit (je potřeba vybrat vhodný bod na zaostření, aby nedošlo k tomu, že se objekt dostane mimo zaostřenou oblast – obzvláště důležitý je odhad v případě fotografování s objektivy s velkou ohniskovou vzdáleností, které mají malou hloubku ostrosti).

11.4.3.4 Upevnění fotoaparátu

Při fotografování časosběrných záznamů je nezbytně nutné zajistit, aby fotoaparát i fotografovaný objekt byly vzájemně nehybné. Pokud by docházelo k nechtěnému pohybu, nebo vibracím, výsledný videozáznam by byl roztřesený, by působilo rušivě. Aby k tomu došlo,

stačí jen, když kolem fotoaparátu někdo projde nebo např. položí na stůl, na kterém probíhá experiment, cokoli těžkého. Stejně tak při použití zrcadlovky s objektivem s velkou ohniskovou vzdáleností (tím pádem i vysokou hmotností) dochází ke zřetelnému rozkmitání i zvednutím zrcadla uvnitř fotoaparátu.



Obrázek 16: Uspořádání techniky při vytváření časosběrného videozáznamu (navíc pomocí techniky makro). Na obrázku je vidět hranatá kyveta s reakční směsí (uprostřed), dále pak černý samet na pozadí a jako podložka, dva fotoaparáty s makro objektivy na stativích a dvě fotografická světla osvětlující scénu z boku. Osvětlování pozadí ze světél je zamezeno pomocí zábran vytvořených z alobalu.

Z předchozího vyplývá, že je nutno připevnit fotoaparát na stativ, který musí být dostatečně pevný a bytelný, aby nedocházelo k jeho roztřesení nebo pohybu. Osvědčují se hlavně „bytelné“ těžké stativy, které se během fotografování ještě zatěžují různými závažími, aby se co nejvíce zamezilo pohybu. Takovým stativem je např. používaný stativ Fomei W-600. Navíc po dobu fotografování byl do laboratoře zamezen přístup. Fotografie uspořádání techniky při fotografování experimentu je vidět na Obrázek 16.

11.4.4 Zpracování získaného materiálu

Získané fotografie byly nejprve upraveny pomocí fotografického programu Zoner Photo Studio 16, kde byly fotografie zmenšeny na velikost výsledného videozáznamu, u fotografií byla provedena korekce barev a vyvážení bílé, případně byla upravena jejich světlost.

Takto upravené fotografie byly následně pomocí programu Adobe® Premiere® Pro CS4 složeny za vzniku videozáznamu. V případě potřeby byly tyto videozáznamy ještě zpomaleny, byl proveden střih tak, aby výsledný záznam zobrazoval nejdůležitější část chemické reakce a k videozáznamu byly přidány titulky. Následně byl vyexportován finální videozáznam.

11.4.5 Modelový případ – záměnná reakce kovové rtuti s dusičnanem stříbrným

Na tomto konkrétním experimentu bude demonstrováno vytváření časosběrného záznamu chemického děje a využití této techniky pro vysvětlování chemický principů. Tvorba a využití videoexperimentů jiných chemických dějů je obdobná demonstrovanému případu.

V tomto experimentu reaguje roztok dusičnanu stříbrného s kovovou rtuť, při této redoxní reakci dochází ke vzniku kovového stříbra a dusičnanu rtuťnatého. Tato reakce je známa téměř od nepaměti a útvar vzniklý touto reakcí se označuje jako Dianin strom pro podobnost vzniklému útvaru ke stromu s rozvětvenou korunou.

Tento experiment sledovaný při běžné rychlosti nevede k pochopení probíhajících dějů, neboť rychlost procesu je pouhým okem nepostřehnutelná.

Experiment byl zaznamenáván v různém uspořádání, v prvním případě se jednalo malou Petriho misku s roztokem dusičnanu stříbrného, v případě druhém se jednalo o akvárium vytvořené ze dvou tenkých skel utěsněných silikonem (pro srovnání <https://youtu.be/jFzzwhNJFrM> a <https://youtu.be/Q3TmPhTVGwk>). Do obou nádob byla přidána pomocí injekční stříkačky kovová rtuť. V obou dvou případech byla sekvence fotografií zaznamenána pomocí digitální zrcadlovky Canon EOS 600D s makro objektivem Canon.

Při sledování zrychleného záznamu je patrné, jakým způsobem tato reakce probíhá. Při redoxním ději dochází k rozpouštění rtuti za vzniku rtuťnatých iontů a naopak ke vzniku kovového stříbra redukcí stříbrných iontů. Vzniklé stříbro se ale nevylučuje na povrchu méně ušlechtilé rtuti, ale rozpouští se v ní za vzniku amalgámu. Na záznamu je pak vidět, jak se pomalu zmenšuje objem kapky rtuti. Rozpustnost stříbra ve rtuti je ale omezená a v okamžiku, kdy dojde k nasycení tohoto roztoku, tak dochází k pomalému růstu krystalků kovového stříbra (případně amalgámu stříbra) směrem z kapky ven. Na obou videozáznamech je pak zřetelné, že reakce se zastavila v okamžiku, kdy došel jeden z reaktantů – kovová rtuť.

Dalším důvodem pro použití videozáznamu tohoto konkrétního experimentu je práce s drahými chemikáliemi (dusičnan stříbrný) a práce s jedovatým a nebezpečným materiálem (kovová rtuť, vzniklý dusičnan rtuťnatý).

11.5 Tvorba slow-motion – zpomalených záznamů

Jako slow-motion označujeme takové videozáznamy, u kterých při přehrávání dochází k výraznému zpomalení zaznamenávaného děje. V případě techniky časosběru (tedy zrychlení) tkvěl hlavní problém v přebytku zaznamenaných dat, v případě výrazného zpomalení je problém opačný a to jejich nedostatek. Běžná videokamera snímá při natáčení scény s frekvencí 25 snímků za sekundu, se stejnou frekvencí pak probíhá i přehrávání pořízeného videozáznamu. Pokud bychom chtěli záznam o polovinu zpomalit (tedy prodloužit délku na dvojnásobek) snížila by se snímkovací frekvence přehrávání na 12 záběrů za sekundu, toto by lidské oko již nevyhodnotilo jako plynulý pohyb. Při větším zpomalení by tento efekt byl ještě výraznější.

Z předcházejícího vyplývá, že při tvorbu zpomalených záběrů je nutné využít videokameru, která je schopná natáčet se snímkovací frekvencí větší než je zmiňovaných 25 fps. Některé z fotoaparátů a videokamer na trhu dnes běžně dostupných dokáží pracovat s vyššími snímkovacími frekvencemi (poměrně běžně kolem 240 fps, výjimečně i více)[35]. U těchto kamer ale dochází při vyšších snímkovacích frekvencích k výraznému snižování rozlišení videozáznamů. Pro tvorbu videozáznamů extrémně zpomalených je ale potřeba využít speciálních tzv. rychloběžných kamer, které zvládají zaznamenávat snímky v plném rozlišení i při snímkovací frekvenci větší než 1000 fps (v případě rychloběžné kamery využívané v této práci – Olympus iSpeed PL je to 200 fps při HD rozlišení, a až 10 000 fps při sníženém rozlišení).

11.5.1 Důvody pro použití zpomalených záběrů

Použití slow-motion videozáznamu může být vhodné v těch případech, kdy chemický děj je příliš rychlý, než aby byl postřehnutelný pouhým okem. Vytvoření zpomaleného záznamu takového děje pak vede k vizualizaci a umožňuje pochopení skutečné podstaty zaznamenaného děje. Stejně tak může docházet ke zjištění, že rychlé reakce probíhají poněkud jinak, než

bychom očekávali z jejich nezpomaleného průběhu. Zpomalený videozáznam je pak jakýmsi důkazem a demonstrací skutečného mechanismu sledovaného děje.

11.5.2 Princip funkce rychloběžné kamery

Filozofie použití rychloběžné kamery je poněkud odlišná než u běžných videokamer. Běžná videokamera začne nahrávat ihned po stlačení tlačítka a tento záznam ihned (po zpracování) ukládá na paměťovou kartu nebo jiné médium. Nahrávání (a ukládání) pak skončí po opětovném povelu ze strany uživatele. Rychloběžná kamera oproti tomu má dvě rozdílné paměti, jednu bychom mohli přirovnat operační paměti v počítači, druhou paměť pak je vlastní paměťová karta, na kterou se ukládá výsledný záznam. Po nastavení rychloběžné kamery a instrukci, aby začala nahrávat, začne tato videokamera ukládat surový záznam do (rychlé) operační paměti. Do té se ale vejde jen omezené množství jednotlivých snímků a v závislosti na snímkovací frekvenci kamery to odpovídá řádově jednotkám vteřin reálného času. Po naplnění kapacity operační paměti je záznam postupně přemazáván a nahrazován záznamem novým.

Toto se děje až do okamžiku zmačknutí tlačítka stop, které přeruší natáčení této smyčky a nyní má uživatel k dispozici posledních několik sekund před ukončením záznamu. Tento záznam může být přehráván na obslužném displeji videokamery a jeho části mohou být převedeny na kartu paměťovou. Tento přenos může v závislosti na délce ukládaného úseku a zvolené kvalitě trvat i desítky minut, toto je způsobeno také relativně malou přenosovou rychlostí ve směru na paměťovou kartu. Prohlížet a ukládat lze jen ty záznamy, které jsou aktuálně nahrány v operační paměti, po jejím přemazání se stávají nedostupnými, samotná kamera pak nedokáže přehrát záznam uložený na paměťové kartě (kvůli její nízké přenosové rychlosti).

Rychloběžná kamera Olympus i-Speed PL (Obrázek 17) umožňovala ukládání záznamu na paměťovou kartu v různých formátech. Jednalo se záznam ve formě surových dat z čipu (RAW), sekvenci nekomprimovaných (*.bmp) a komprimovaných (*.jpg) obrázků, dále pak ve formě komprimovaných a nekomprimovaných videozáznamů (*.hsv). Nejvíce se osvědčily sekvence *.jpg obrázků, jejichž kvalita se příliš nelišila od sekvence *.bmp obrázků a zároveň nebylo nutné konvertovat soubory vytvořené rychloběžnou kamerou na soubory kompatibilní s programy používanými na editaci videa.



Obrázek 17: Rychloběžná kamera Olympus i-Speed PL s objektivem Zeiss Compact Prime 35mm/T2,1. Nahoře na videokameře je připevněna ovládací konzole, na boku pak baterie.

11.5.3 Technické obtíže při využití rychloběžné kamery a jejich řešení

Využití rychloběžné kamery k záznamu průběhu chemických reakcí s sebou nese několik aspektů, které jsou pro tuto techniku typické.

11.5.3.1 Snímková frekvence

Důležitým parametrem, který nejvíce ovlivňuje vzhled vzniklých zpomalených videozáznamů je snímková frekvence, tedy počet snímků za sekundu, které videokamera zaznamená. Vyšší snímková frekvence vede k většímu zpomalení děje, ale zároveň omezuje zaznamenanou délku reálného děje a naopak. Nevhodně zvolená snímková frekvence může vést k tomu, že se na záznam nevejde celý děj (příliš vysoká snímková frekvence) nebo, že nebude zpomalení děje dostatečné k zaznamenání jeho skutečného průběhu (příliš malá snímková frekvence). Při zvolení příliš velké snímkové frekvence také může dojít k tomu, že děj bude příliš zpomalený a změna nebude dostatečně zřetelná. Vhodné nastavení snímkovací frekvence je pak otázkou zkušeností a řady experimentů metodou pokus-omyl.

11.5.3.2 Osvětlení scény a nastavení parametrů

Hlavním problémem při využívání rychloběžné kamery je osvětlení natáčené scény. U běžné kamery zaznamenávající 25 snímků za sekundu připadá na jeden snímek expoziční čas až 1/25 sekundy. Toto je dostatečná hodnota i pro tvorbu videozáznamů za méně dokonalých světelných podmínek. U rychloběžné kamery, která snímá se snímkovou frekvencí např. 1000 fps, připadá na jeden snímek expoziční čas maximálně 1/1000 sekundy, tedy množství

světla dopadající na čip během jednoho snímku je řádově menší než u běžného záznamu. Z tohoto důvodu je nutné mít scénu dostatečně osvětlenou, se zvyšující se snímkovou frekvencí pak náročnost intenzitu světla ještě roste.

Částečně lze nedostatek světla vyřešit menším cloněním (nastavením menšího clonového čísla), toto ale vede ke snížení hloubky ostroty, mohlo by se tedy poté stát, že bude zaostřená pouze část objektu a sníží se tak kvalita získaného videozáznamu.

S osvětlováním scény se pojí ještě jeden problém, a to je skutečnost, že běžné zdroje světla na střídavé napětí „blikají“, tedy intenzita vyzařovaného světla se periodicky mění s frekvencí 50 Hz (odpovídá frekvenci střídavého napětí v síti). Toto „blikání“ je sice nepodstatné při využívání běžné videokamery (při snímkové frekvenci 25 fps blikne takové světlo dvakrát během jednoho snímku), u kamery rychloběžné se při vyšších snímkových frekvencích běžně stává, že část snímků je tmavší a část světlejší. Ve výsledném videozáznamu se toto projevuje jako periodické kolísání světlosti snímku, které je rušivé. Tomuto lze předejít použitím speciálních stabilizovaných světel, jako jsou například používaná světla Arri 650W Fresnel. Naopak jako naprosto nevhodné se ukázaly halogenové světlomety z hobbymarketu. Ty sice produkují světlo o vysoké intenzitě, ale intenzivně zahřívají scénu a navíc nejsou napětově stabilizované a blikání se projevuje i v jejich případech.

Zvláštní kategorií je potom nastavení rychloběžné kamery v případě zaznamenávání plamenů. Ty jsou velmi jasné a často vedou k přesvětlení celé scény. V případě, kdy je kamera nastavena tak, aby byly plameny prokreslené a zřetelné, není pak vidět ostatní objekty v okolí plamene. Toto se dá ale částečně eliminovat vyšší intenzitou osvětlení.

11.5.3.3 Kompozice scény, použití techniky k pořízení zpomalených záznamů

Při tvorbě scény pro natáčení pomocí rychloběžné kamery je potřeba uvažovat skutečnost, že snímání objektu je potřeba intenzivně nasvítit, je tedy běžné využití hned několika světel, které osvětlují objekt z několika různých stran, většinou šikmo zepředu a ze stran.

V závislosti na barvě a světlosti snímaného objektu je také potřeba vhodně zvolit pozadí. Pro světlé nebo světlo produkující reakce je vhodné jako pozadí použít černý samet, pro objekty tmavé je vhodné použít pozadí světlé, případně jej ještě osvětlit.

Pro natáčení kapalin a reakcí v kapalném prostředí se opět osvědčilo využití nádob s rovnými stěnami, například silikonovým tmelem lepená akvária o velikosti stěny 10 × 10 cm a tloušťce 1-2 cm.

Kromě rychloběžné kamery byly snímání děje natáčeny ještě běžnou kamerou, záběry v reálném čase byly následně využity na tvorbu videozáznamu demonstrující skutečnou rychlost děje v kontrastu se záznamem zpomaleným. Obrázek 18 pak ukazuje pohled na uspořádání techniky při tvorbě slow-motion videozáznamů.



Obrázek 18: Pohled na uspořádání filmářské techniky při tvorbě zpomalených (slow-motion) záběrů. V popředí je rychloběžná kamera, vedle ní je patrný fotoaparát natáčející stejný experiment v reálném čase. Uprostřed scény je pak probíhající experiment, který je osvětlován dvěma světly Fomei Easy Light-3 (černé vzadu) a dvěma světly Arri 650W Fresnel. Vlevo je pak vidět ovládací konzole rychloběžné kamery.

11.5.3.4 Upevnění rychloběžné kamery

Na rozdíl od časoběrných záznamů není používání rychloběžné kamery tolik citlivé na pohyby během natáčení, v určitých případech je možné natáčení provádět i bez využití stativu. Nicméně rychloběžná kamera i s objektivem, ovládací konzolí a bateriemi váží přes 8 kg, pro práci je tedy vhodné stativ využít. Stativ samotný pak musí být dostatečně pevný, aby tuto

zátěž unesl a nedocházelo k pohybu videokamery vlivem ohýbání stativu. Pro práci se osvědčil stativ Fomei W-600, který má jak dostatečnou pevnost, tak nosnost.

11.5.4 Modelový případ – výroba a reakce fosfanu

Na tomto konkrétním experimentu bude demonstrováno vytváření slow-motion záznamu chemického děje a využití této techniky pro vysvětlování chemický principů. Tvorba a využití videoexperimentů jiných chemických dějů je obdobná demonstrovanému případu.

Fosfan je bezbarvý plyn zapáchající po česneku, na vzduchu je nestálý a při styku s kyslíkem dokonce samozápalný. Elegantní způsob jeho výroby je reakce fosfidu vápenatého se zředěným vodným roztokem kyseliny. Produktem hoření je pak bílý obláček oxidu fosforečného.

Provedení tohoto experimentu je takové, že v malém akváriu je nalita 1M kyselina sírová. Do tohoto roztoku je vhozen kus fosfidu vápenatého, který ihned začne reagovat s kyselinou za vzniku bezbarvých bublinek fosfanu, které vyplouvají na hladinu, kde se nejprve spojují do větších bublin, které následně praskají za vzniku efektního plamene a obláčku oxidu fosforečného.

Scéna pro natáčení byla sestavena tak, že reakce byla prováděna v malém akváriu, které bylo z boku osvětlováno dvěma světly, aby byly na záznamu viditelné jeho obrysy, stejně tak osvětluje vznikající bublinky fosfanu. Na pozadí byla vybrána černá barva kvůli tomu, aby byly dobře viditelné vznikající plameny, na světlém pozadí by také zanikly obláčky bílého oxidu fosforečného vznikajícího při reakci. Reakce byla zaznamenávána při snímkové frekvenci 600 fps, což odpovídá 24násobnému zpomalení oproti skutečnosti. Jednotlivé parametry byly během opakování natáčení několikrát upraveny, aby výsledný videozáznam byl co nejzřetelnější.

Zpomalený záznam reakce pak zobrazuje několik pouhým okem nepostřehnutelných skutečností, zejména, že fosfid vápenatý reaguje s kyselinou za vzniku plynu, že tento plyn je sám o sobě stabilní (nerozkládá se bez iniciace), jedná se o plyn hořlavý, který je při styku s kyslíkem dokonce samozápalný, při spalování fosfanu vzniká bílý oxid fosforečný. V případě běžného (nezpomaleného) záznamu je patrný pouze plamen a obláček oxidu fosforečného.

11.6 Tvorba makro videozáznamů

Makrofotografie se využívají v těch případech, kdy je potřeba zobrazit malý objekt, makro objektivy se pak označují takové objektivy, které zobrazují daný objekt na čip fotoaparátu v poměru velikostí větší než 1:1, toto odpovídá množství detailů, které zachytí lidské oko na objektu ve vzdálenosti 25 cm.

11.6.1 Důvody pro použití makro záznamu

Metoda makro videozáznamů je vhodná využít v případě, že reagující částice a produkty jsou malé a nejdou žádným rozumným způsobem zvětšit. Příkladem může být například tvorba záznamů vytěšňování kovů ze svých solí, kdy se často na povrchu méně ušlechtilého kovu vylučuje ušlechtilejší kov ve formě malých prokreslených krystalků. Záznam takovéto reakce bez patřičného zvětšení by pak nevedl k názorné ukázce krystalizace kovů.

11.6.2 Princip funkce

Pro tvorbu videozáznamů malých objektivů nejsou použitelné běžné videokamery, které nemají výměnné objektivy, neboť objektivy využívané v běžných videokamerách nejsou schopny zaostřit na tak malé vzdálenosti. Pro tvorbu makro videozáznamů je tedy potřeba využít videokameru s nasazeným makro objektivem nebo lze využít takovou digitální zrcadlovku, která je schopná zaznamenávat i videozáznam. Makro objektivy se ve většině případů vyrábějí s pevným ohniskem okolo 100 mm a jsou schopny zaostřit na objekty, které jsou jen pár centimetrů od čočky.

V případě tvorby videozáznamů chemických reakcí je tato technika často spojena s technikou časosběru.

11.6.3 Technické obtíže při využití makro objektivu a jejich řešení

Využití techniky makro videozáznamu s sebou přináší oproti běžným technikám svá úskalí, jejichž řešením se zabývají následující podkapitoly.

11.6.3.1 Kompozice a osvětlení scény

Vzhledem k poměrně velké ohniskové vzdálenosti makro objektivů a používané nízké cloně (kvůli velkému odstupu objektu od pozadí a potřebě dostatečného osvětlení) mají fotografie a

videozáznamy poměrně nízkou hloubku ostrosti. Proto je opět nevýhodné zaznamenávat výrazně prostorové objekty či kulaté reakční nádoby. Jako nádoby vhodné pro vytváření makro záznamů se osvědčily spektrofotometrické kyvety. Jako vhodné pozadí byl použit černý samet.

Aby bylo předejito rozmazání záběrů, je také potřeba scénu intenzivně osvětlit, obdobně jako v předchozích případech se osvědčily studiová světla Fomei Easy Light-3.

11.6.3.2 Ostření a upevnění fotoaparátu

Vytváření makro záběrů je kvůli velké ohniskové vzdálenosti objektivu citlivé na pohyb fotoaparátu nebo videokamery na stativu. Je proto vhodné používat robustní, pevné stativy, při práci jsou tyto stativy běžně pro vyšší stabilitu zatíženy závažími. U tvorby makro záznamů je běžné, že ostření probíhá manuálně, přičemž se posouvá fotoaparát vůči objektu. K tomuto účelu se hodí využití tzv. makro sáněk nebo zaostřovacích sáněk. Jedná se o kolejničky, které se připevní mezi fotoaparát a hlavu stativu, které pomocí ozubeného kola umožňují přesně posouvat fotoaparát ve vybrané ose (většinou přibližovat a vzdalovat od objektu).

Při plánování experimentu je potřeba také brát v potaz, zda se nebude při reakci posouvat, nebo zda se nedostane mimo zaostřenou zónu.

11.6.4 Modelový případ – záměnná reakce kovové mědi a dusičnanu stříbrného

Na tomto konkrétním experimentu bude demonstrováno vytváření makro záznamu chemického děje a využití této techniky pro vysvětlování chemických principů. Tvorba a využití videoexperimentů jiných chemických dějů je obdobná demonstrovanému případu.

Při reakci roztoku dusičnanu stříbrného s kovovou mědí dochází k vytěšňování ušlechtilého kovu ze své sloučeniny kovem méně ušlechtilým. Ušlechtilý kov se pak vylučuje v těsné blízkosti kovu neušlechtilého. V některých případech se kov vylučuje ve formě jemného prášku, pokud se ale podaří zachovat vhodné podmínky, dochází k vylučování ve formě pěkných krystalů.

Reakce byla prováděna v malé spektroskopické kyvetě za použití 0,5% roztoku AgNO_3 v destilované vodě do které byl přidán kus ohnutého měděného drátu. Reakce byla ze stran osvětlena dvěma studiovými světly, pozadím je černý samet. Vzhledem k rychlosti tohoto chemického děje byla reakce zaznamenávána a zároveň metodou časosběru. Snímek ze vzniklého záznamu je vidět na Obrázek 19.

Při shlédnutí zrychleného a zvětšeného videozáznamu této chemické reakce je zřetelně vidět, jakým způsobem vyrůstají krystaly stříbra a tvary těchto krystalů. Ze záznamu je také patrná postupná změna barvy roztoku do modra způsobená měďnatými ionty, které se při reakci do roztoku uvolňují. Tato změna barvy na běžném záznamu také patrná není.



Obrázek 19: Snímek z makro videozáznamu reakce roztoku dusičnanu stříbrného s kovovou mědí. Na obrázku jsou zřetelně viditelné krystalky kovového stříbra vzniklého při vytěšňování ušlechtilého kovu ze sloučeniny kovem ušlechtilým. Velikost jehlicovitých krystalků je asi 1 mm.

12. TVORBA MODELŮ POMOCÍ 3D TISKU

Na základě informací uvedených v kapitole 8.4, zabývající se různými technologiemi 3D tisku, byla pro běžné školní využití při tvorbě 3D modelů pro výuku chemie vybrána technologie FDM 3D tiskáren. Tento výběr byl proveden z důvodu její relativní finanční nenáročnosti a vlastnostem vytvářených modelů.

12.1 Požadavky na vytištěné 3D modely

Z hlediska použití ve výuce by měly mít připravované modely následující vlastnosti tak, aby vyhovovaly pravidlům naznačeným v kapitole 5.3.1.1[9], [12]:

- Modely by měly být názorné, aby na nich byl zřejmý jejich účel. Neměly by obsahovat prvky, které odpoutávají pozornost.
- Modely by měly být vyvedené ve výrazných barvách, dvoubarevné modely by měly být vyvedeny v kontrastních barvách.
- Modely by měly být kvalitní po technické stránce; měly by mít maximální možnou životnost, pevnost, trvanlivost s ohledem na možnosti 3D tisku. U modelů se předpokládá jejich opakované využívání. Větší odolnost by měly mít modely určené pro práci studentů.
- Modely určené jako demonstrační by měly být dostatečně veliké s ohledem na jejich použití a na tiskový prostor 3D tiskárny.
- Modely by měly být odborně správné, demonstrováné jevy by měly být věrně zobrazeny s maximální možnou přesností (pokud to není rozporu s názorností takového modelu). Zobrazované veličiny, měly by být založeny na změřených hodnotách, nemělo by jít o predikce nebo simulace.
- Modely by měly být nedostupné z jiných zdrojů nebo jejich výroba by měla být výrazně levnější než komerční řešení.
- Modely by měly být vytvořeny tak, aby byly dostupné širokému spektru učitelů, a aby jejich výroba byla nezávislá na použité 3D tiskárně.

12.2 Výběr modelů

Výběr modelů byl proveden na základě konzultací s učiteli chemie na SŠ a vyučujícími odborných přednášek na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy (s ohledem na požadavky řešeného institucionálního projektu zaměřeného na 3D tisk).

S ohledem na stanovené požadavky byly vybrány následující modelové případy:

- modely tvarů molekul podle teorie VSEPR,
- modely pro výuku symetrie koordinačních částic,
- modely anorganických a organických molekul z krystalografických dat,
- modely anorganických a organických molekul na základě vypočtené geometrie,
- modely struktur proteinů,
- modely orbitalů,
- 3D periodické tabulky prvků,
- náhradní díly k molekulové stavebnici.

Tyto modelové případy dobře ilustrují průřez možností využití 3D tisku ve výuce a nastiňují různé přístupy ke tvorbě digitální modelů a následně modelů fyzických. K tvorbě jiných modelů se dá přistupovat jedním z modelových přístupů, který lze na základě zkušeností doporučit.

12.2.1 Využití vybraných modelů ve výuce

U modelů tvarů molekul podle teorie VSEPR se předpokládá jejich využití při výuce obecné chemie na SŠ, stejně tak použití při výuce anorganické a obecné chemie na VŠ. Modely jsou zamýšleny jako demonstrační (velikost cca 20 cm – horní limit možnosti 3D tiskárny) nebo jako multiplikáty (velikost asi 8 cm – kompromis mezi velikostí modelu, dobou tisku, cenou a prostorem potřebným pro skladování hotových modelů). Odborná správnost modelů vyplývá z toho, že teorie VSEPR je čistě geometrickým problémem, pro tvorbu modelů byly využity principy, popisované samotnou teorií[130]. Názornost modelu spočívá v demonstraci toho, že molekuly jsou skutečně prostorovými útvary. Pro zvětšení názornosti byly modely vytvořeny i jako dvoubarevné, aby byly zřetelně opticky odlišeny atomy a vazby.

Modely pro výuku symetrie koordinačních částic jsou zamýšleny jako demonstrační (velikost cca 20 cm – maximální velikost tiskového prostoru 3D tiskárny) pro výuku anorganické a koordinační chemie na VŠ. Pro větší názornost jsou vyráběny jako dvoubarevné, opět z důvodu odlišení vlastní molekuly a geometrickému útvaru, kterému je molekula vepsána. Jejich odborná správnost vyplývá z využití matematických pravidel, kterými jsou tyto modely popisovány.

Modely anorganických a organických látek lze využít při výuce anorganické a organické chemie na VŠ a SŠ v rámci anorganické a organické chemie. Modely jsou zamýšleny jako demonstrační (velikost cca 20 cm – maximální tiskový prostor 3D tiskárny), případně jako

multiplikáty (velikost do 10 cm – kompromis mezi cenou, délkou tisku, názorností a prostorem potřebným ke skladování). Pro lepší názornost mohou být vyráběny jako dvoubarevné nebo ručně kolorované. Pro zachování maximální přesnosti vycházejí tyto modely z dat naměřených pomocí rentgenové strukturní analýzy, tedy prostorového uspořádání jednotlivých atomů v krystalu. V případě nedostupnosti dat z rentgenové strukturní analýzy je možné tyto modely vyrobit na základě výpočtu geometrie pomocí specializovaného softwaru. Přesnost a správnost modelu vytvořeného na základě dat z rentgenové strukturní analýzy je pak větší než v případě modelů vyrobených na základě kvantově-mechanických výpočtů, které nejsou zcela dokonalé. Ale i tyto modely jsou do té míry správné, že jsou vhodné pro výuku.

U modelů struktur proteinů se předpokládá jejich použití při výuce biochemie (SŠ i VŠ). Při průzkumu nabídky obchodů s učebními pomůckami nebyl nalezen žádný model, který by ukazoval strukturu proteinů pomocí zobrazení typu Cartoon[131], které je jinak běžné v chemické praxi. Jako modely byly vybrány dva proteiny: plastocyanin, na kterém je vidět uspořádání řetězce typu β -skládaný list a cytochrom c, na kterém je patrné uspořádání řetězců ve struktuře α -šroubovice. Tyto struktury jsou pak na výsledném modelu znázorněny různými barvami. Vzhledem k náročnosti celého tisku byl model připraven o maximálním rozměru 15 cm. Přesnost struktury proteinů je zaručena použitím dat z krystalografické databáze.

Modely tvaru orbitalů byly vytvořeny pro použití při výuce struktury elektronového obalu (SŠ i VŠ). Aby byly tvary orbitalů vědecky přesné a správné, byly jako zdrojová data použity rovnice popisující sférické harmonické funkce těchto orbitalů[15]. Tyto rovnice vycházejí z řešení Schrödingerovy rovnice, je to tedy nejpřesnější možný popis skutečnosti. K samotnému tvaru orbitalů pak byly přidány válečky znázorňující jednotlivé souřadné osy. Pro lepší názornost byla vybrána dvoubarevná varianta tisku, kdy osy mají bílou barvu a samotné orbitály jsou barevné, barevnost orbitalů pak byla vybírána tak, aby barvy byly co nejvíce kontrastní a zároveň všechny orbitály stejného typu (p , d) měly stejnou barvu. Vzhledem k prostorové náročnosti na skladování byly orbitály vyrobeny 15 cm vysoké. Při prohledávání obchodů s učebními pomůckami nebyly nalezené obdobně velké modely orbitalů (pouze žákovské stavebnice o velikosti asi 8 cm[56]).

Využití 3D periodických tabulek prvků se předpokládá při výuce obecné chemie, konkrétně při popisu periodické tabulky prvků a trendů fyzikálních vlastností jednotlivých prvků (SŠ i VŠ). Tyto veličiny jsou pak vynášeny jako výška jednotlivých políček periodické tabulky prvků. Přínosem takových tabulek je jejich vysoká názornost a určitý motivační potenciál. Pro tvorbu 3D periodických tabulek sloužily jako zdroj dat fyzikální veličiny publikované v odborné literatuře [15], [24], [125]. Pro lepší názornost byly tabulky vytvořeny v dvoubarevném provedení, kdy velikost jednotlivých veličin kromě výšky znázorňuje ještě odstín barvy. Vzhledem k velikosti tiskového prostoru 3D tiskárny a požadavku na co největší pevnost je velikost těchto tabulek 19 × 10 × 5 cm. Při prohledávání obchodů s učebními pomůckami nebyly nalezené žádné fyzické pomůcky, které by názorně ukazovaly demonstrováné jevy, pouze dvoudimenzionální náčrty.

Náhradní díly k molekulové stavebnici byly vytvořeny s úmyslem nahradit rozbité součásti molekulové stavebnice běžně využívané při výuce chemie na ZŠ a SŠ. Tyto díly jsou samostatně nepoužitelné. Stavebnice jsou pak určeny pro výuku anorganické a organické chemie na ZŠ, SŠ i VŠ. Vytvořené digitální modely jsou uloženy na datovém DVD, které je součástí této práce (Příloha 8).

12.3 Používaný materiál

Pro FDM tiskárny existuje mnoho různých druhů materiálů ve formě vláken - filament. Každý materiál má své specifické vlastnosti a specifický způsob tisku. Při výběru materiálu je potřeba si uvědomit, jak bude výsledný model používán a jaké vlastnosti musí mít, co se týká pevnosti, či styku s jinými látkami.

12.3.1 Kyselina polymléčná (PLA – polylactic acid)

Filamenta vyrobená z kyseliny polymléčné patří k nejpoužívanějším materiálům. Jedná se o lehce tavitelný plast (teplota tisku okolo 210 °C). Má nízkou tepelnou roztažnost, pro tisk není potřeba vyhřívaná podložka, při tisku se nemá tendenci odlepovat od podložky. Výhodou je dostupnost a cena. Objekty vyrobené z PLA jsou poměrně pevné, nesmí se ale zahřívat, již při asi 60 °C dochází k nevratné deformaci. Tento plast není odolný vůči chemikáliím, rozpouští se v kyselinách a hydroxidech i organických rozpouštědlech. Vůči působení vody je

však do značné míry inertní. Dodává se v mnoha barvách a je neprůhledný. Při použití vyhřívané podložky lze reprodukovatelně tisknout i velké objekty (i kolem 20 cm).

Materiál je vyráběn z přírodních zdrojů – kukuřičného škrobu, je biologicky odbouratelný a kompostovatelný[80], [82], [84]

12.3.2 Akrylonitrilbutadienový kaučuk (ABS – acrylonitrile butadiene styrene)

Tento plast vyniká svou pevností, vyrábějí se z něj například kostičky stavebnice LEGO. Při tisku je potřeba mít 3D tiskárnu konstruovanou na vyšší tiskové teploty (okolo 240 °C) a vyhřívanou podložku, jinak dochází k deformaci objektu a jeho odlepování od podložky. I s vyhřívanou podložkou je obtížné vytisknout velké objekty.

Vysoká teplota tisku je spojena s tím, že se materiál v trysce rozkládá a uvolňuje do ovzduší zápach a potencionálně karcinogenní výpary. Je vhodné tisknout v dobře odvětrávaném prostoru. Objekty vyrobené z ABS mají větší tepelnou odolnost než ty z PLA. Materiál se dodává v mnoha barvách, je neprůhledný. U objektů vyrobených z ABS je možné dosáhnout lesklého vzhledu vystavením parám acetonu[82].

12.3.3 Polyethylentereftalát (PET – polyethylene terephthalate)

Jedná se o materiál běžně známý z lahví od nápojů. Teplota trysky při tisku se pohybuje kolem 220 °C, ve většině případů nepotřebuje vyhřívanou podložku. Dají se z něj vytvořit i velké modely. Výsledný výrobek je poměrně dobře tepelně stálý, PET odolává i běžným chemikáliím. Na rozdíl od ostatních materiálů se vyrábí v průhledné variantě (vyrobené objekty jsou pak ale jen průsvitné). Jeho nevýhodou je vyšší cena v porovnání s PLA a ABS[82].

12.3.4 Polyvinylalkohol (PVA – polyvinyl alcohol)

Oproti ostatním plastům má polyvinylalkohol jednu specifickou vlastnost, a to, že je rozpustný ve vodě. Jedná se o materiál, kterým se tiskne při teplotě okolo 210 °C, nepotřebuje nutně vyhřívanou podložku, ale její použití je výhodou. Tento materiál se nevyužívá přímo na konstrukční díly, ale obvykle na tvorbu ve vodě rozpustných podpěr. Použití podpor z PVA je nezbytné u složitých modelů s vnitřní strukturou, při jejichž tisku je potřeba vytvořit podpory, ale není možné (a nebo je příliš náročné) podpory odstranit. Nevýhodou tohoto materiálu je

jeho vysoká cena (cca dvojnásobná oproti např. PLA) a jeho hygroskopičnost. Pokud je filament z PVA ponechán delší dobu na vzduchu, pohlcuje vlhkost a bobtná, při tisku se pak voda z filamenta odpařuje vodní pára a „rozprskává“ roztavený plast po okolí.

12.3.5 Polyethylen (PE – polyethylene)

Samotný polyethylen je pro svou vysokou tepelnou roztažnost pro tisk objektů nepoužitelný – kvůli zmenšování objemu při chladnutí dochází k deformaci objektu. Tento materiál je ale mimořádně vhodný na čištění trysky tiskárny, neboť se nerozkládá ani při teplotách kolem 260 °C a lze pomocí něj nečistoty vyplavit.

12.3.6 Speciální materiály

Kromě výše zmíněných materiálů lze pro 3D tisk využít i další materiály se speciálními vlastnostmi. Na trhu existují materiály flexibilní (např. NinjaTekNinjabflex® [132]), extra pevné – s příměsí uhlíkových vláken (CARBONX™ [133]), vodivé – s příměsí grafitu (např. eSUNConductive[134]), s příměsí práškového kovu (např. colorFabbBronzefill[135]), nebo s příměsí dřevěných pilin (např. colorFabb Woodfill[136]). Dva poslední jmenované materiály mají tu vlastnost, že předměty po vyleštění vypadají jako odlité z kovu či vyrobené ze dřeva.

12.4 Použité FDM 3D tiskárny

Pro tisk 3D modelů byly použity 3 různé 3D tiskárny, všechny jsou běžně dostupné na českém trhu, mají v Česku obchodní zastoupení, takže není problém s platbou daně, fakturací ani případnou reklamací. Byly použity následující tiskárny: Builder Dual-Feed, CEL Robox a Ultimaker Original+

12.4.1 Builder Dual-Feed

3D tiskárna holandské firmy Builder 3D Printers. Výhodou této tiskárny je rigidní kovová konstrukce, specialitou je pak provedení se dvěma extrudery a jednou tryskou (Obrázek 20). Toto umožňuje používat dva různé materiály během jednoho tisku (například vodorozpustný polyvinylalkohol – PVA, spolu s normálním vláknem) nebo dvě různé barvy. Specialitou je pak míchání vláken dvou barev, které vede ke gradientu barevnosti v rámci jednoho objektu. Tato tiskárna je vhodná pro tisk složitých struktur (makromolekuly, proteiny), dvoubarevných objektů a prostorových grafů.

Pořizovací cena této tiskárny byla v květnu 2015 cca 65 000 Kč. Dnes je již nahrazena novým vylepšeným typem.

Nevýhodou této tiskárny je pak vyšší pořizovací cena a nižší rychlost tisku, která je způsobena větší hmotností a z ní vyplývající hybností hlavy nesoucí dva extrudery.



Obrázek 20: 3D tiskárna Builder Dual-Feed*.

12.4.2 CEL Robox

CEL Robox je produktem britské firmy CEL, jedná se o velmi jednoduše ovládatelnou 3D tiskárnu s vlastním ovládacím software AutoMaker (Obrázek 21). Jde se o tiskárnu s celouzavřeným tiskovým prostorem, z bezpečnostních důvodů je mimořádně vhodná, neboť je zamezeno styku uživatele s horkými částmi během 3D tiskárny. Výhodou této tiskárny je její snadná obsluha. Jednotlivé cívky s vlákny mají na sobě čip, kde jsou od výroby uloženy nejvhodnější parametry pro bezproblémový tisk, stejně tak ovládací software je uživatelsky nenáročný. Specialitou 3D tiskárny je pak vyměnitelná tisková hlava, která má dvě trysky o různém průměru, které se během tisku automaticky přepínají podle toho, jestli je potřeba vyplňovat větší plochy, nebo tisknout detaily.

K tiskárně byla v průběhu práce dokoupena sada nové tiskové hlavy a příslušenství, které upraví tiskárnu na tisk dvěma materiály (cena upgradu je asi 12 000 Kč – listopad 2016). Šikovná je také automatická kalibrace výšky tiskové plochy před každým tiskem, systém rozpoznávání tiskového materiálu pomocí čipu na cívce (díky čemuž lze zjednodušit nastavení tisku) a jednoduchost ovládacího software. Nevýhodou je pak malý tiskový prostor a malá možnost 3D tiskárnu modifikovat. V případě, i drobné závady je nutné nechat opravit 3D tiskárnu ve specializovaném servisu.

* Převzato z <http://builder3dprinters.com/>

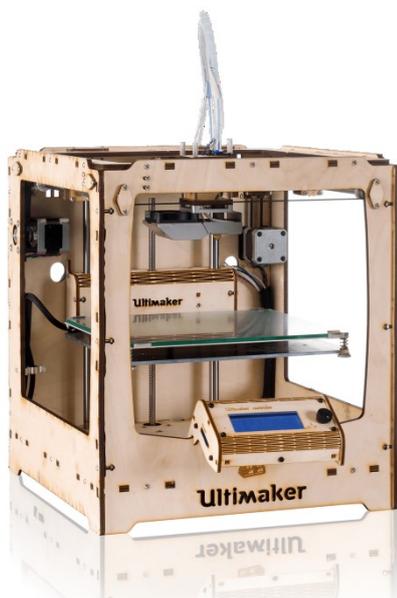
Pořizovací cena je pak zhruba 36 000 Kč (listopad 2016).



Obrázek 21: 3D tiskárna CEL Robox^{xi}.

12.4.3 Ultimaker Original+

Ultimaker je nizozemská firma vyrábějící 3D tiskárny. Ultimaker Original+ se od předchozích tiskáren liší tím, že se neprodává v sestaveném stavu, koupit lze pouze stavebnici, obsahující návod a všechny součástky potřebné k postavení funkční 3D tiskárny (Obrázek 22). Konstrukce tiskárny je tradiční uzavřená. Poměrně zvláštní je výběr konstrukčního materiálu, tiskárna je vytvořena z laserem řezané překližky.



Obrázek 22: 3D tiskárna UltimakerOriginal+^{xii}.

Výhodou této tiskárny je umístění extrudéru na zadní straně, díky tomu je tisková hlava lehčí, což umožňuje rychlejší tisk. Zároveň je tato tiskárna poměrně tichá. Nevýhodou je pak trochu obtížnější kalibrace a nastavování vyplývající z její konstrukce.

^{xi} Převzato <http://www.cel-robox.com>

^{xii} převzato z www.ultimaker.com

V našem případě konstrukce a kalibrace tiskárny trvala asi 5 hodin a nevyžadovala žádné zvláštní dovednosti. Všechny konstrukční díly se spojovaly pouze pomocí dodaného šroubováku. Výhodou sestavení tiskárny je dokonalé seznámení se s jejími součástmi a funkcí, což umožňuje tiskárnu upravovat a vylepšovat.

Cena stavebnice je cca 33 000 Kč (listopad 2016).

12.5 Průběh 3D tisku

Nezávisle na použité technologii 3D tiskárny se skládá tisk z několika po sobě jdoucích kroků.

1. Získání (vytvoření) digitálního modelu
2. Příprava digitálního modelu pro tisk – slicování
3. Příprava 3D tiskárny a vlastní tisk
4. Úprava modelu po tisku – post-processing

12.5.1 Získání digitálního modelu

Běžným typem souboru 3D modelu je soubor s příponou *.stl, jehož přípona odkazuje na jeho původní použití jako formátu pro stereolitografii. Tento typ souboru definuje prostorový objekt pomocí sítě trojúhelníků, které pokrývají jeho povrch (Obrázek 23). V souboru samotném jsou potom uloženy prostorové souřadnice vrcholů jednotlivých trojúhelníků a je definováno, jak jsou spojené mezi sebou, tedy na které straně trojúhelníku je vnější část objektu, a na které je vnitřek.

```
solid model
  facet normal -0 0 1
  outerloop
    vertex -5 5 5
    vertex 5 -5 5
    vertex 5 5 5
  endloop
endfacet
...
```

Obrázek 23: Struktura *.stl souboru, jednotlivé příkazy značí jaký typ objektu se má vytvořit – 3D model, který se skládá z následujících fázet.

Kromě souborů s příponou *.stl je možné se také setkat se soubory s příponou *.obj či *.amf. Tyto soubory nejsou příliš časté a práce s nimi se prakticky neliší od nakládání se soubory typu *.stl.

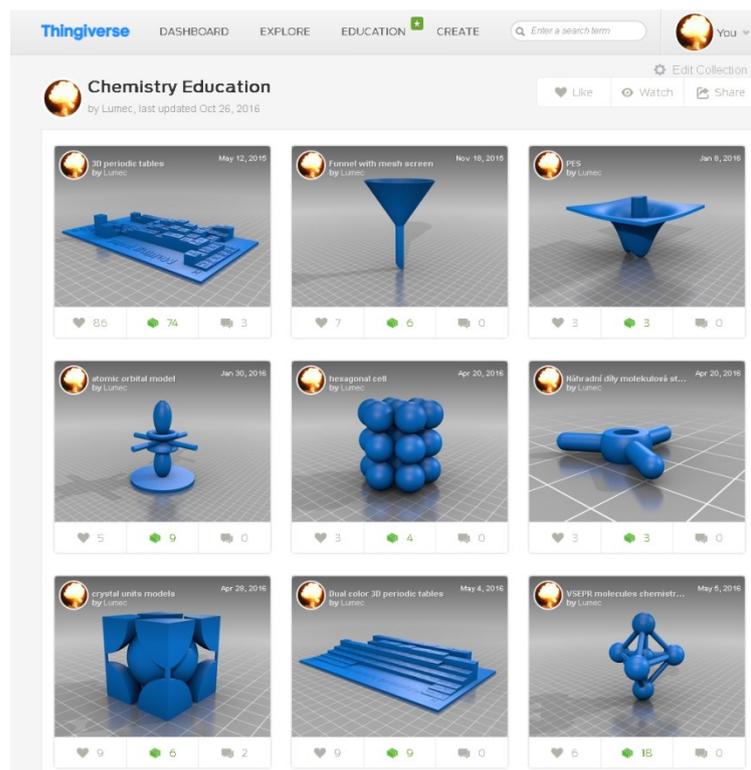
Soubory 3D modelů pro další tisk lze získat několika způsoby. Je možné je stáhnout již připravené z internetových databází, vytvořit si je v modelovacím softwaru nebo je vytvořit některým ze specializovaných nástrojů. Konkrétní případy tvorby *.stl souborů různých didaktických modelů pro výuku chemie budou diskutovány v kapitole 12.6.

12.5.1.1 Internetové databáze modelů

Možností získání souborů s modely je více. Nejjednodušším způsobem je stažení již připraveného souboru z internetu. Existují specializované servery, které shromažďují soubory 3D modelů. Zde je možné jednotlivé modely třídit, prohledávat a stahovat. Výhodou těchto serverů je, že kromě modelů samotných většinou obsahují i zdrojové kódy pro úpravu modelů, fotografie již hotových modelů a doporučené nastavení tiskárny pro úspěšný tisk. Nevýhodou pak je, že se občas vyskytují vadné modely obsahující chyby, které znemožňují jeho tisk. Takové modely je pak nutné upravit do použitelné podoby, mnohdy je ale jednodušší model vytvořit de novo.

Kromě bezplatných databází modelů pak existují i komerční weby, kde je možné si koupit modely pro tisk nebo rovnou hotové objekty – tato varianta ale bývá drahá oproti tvorbě na vlastní 3D tiskárně[137]–[139].

Mezi nejpoužívanější weby s 3D modely patří www.thingiverse.com (Obrázek 24) nebo www.youmagine.com. Jen na prvním zmíněném webu je přes 800 000 různých modelů (stav k červnu 2017)[140].



Obrázek 24: Stránka www.thingiverse.com, internetová databáze 3D modelů.

12.5.1.2 Digitální modelování pomocí CAD softwaru

Druhou možností získání 3D modelů je vymodelování objektu ve speciálním software označovaném jako CAD (ComputerAided Design). Jedná se o programy, které jsou schopny vytvářet a upravovat prostorové objekty podle zadání uživatele. Kromě placených verzí programů jako je AutoCAD[141] existuje i množství freewarových variant jako je FreeCAD, Blender[142] nebo OpenSCAD. Zajímavou variantou je program TinkerCAD, který se ovládá přes webové rozhraní a je velmi přívětivý, co se ovládání týče. Profesionální variantou je software Fusion360. Jedná se o placený program, který je ale pro školy a výukové potřeby distribuován zdarma. Ve výsledku se ale ukazuje, že na různé typy modelů je vhodné používat různé modelovací programy (viz kapitolu 12.6).

Výhodou této metody je možnost vytvořit si model přesně podle svých představ, nevýhodou je nutnost se naučit program ovládat.

12.5.1.3 Použití specializovaných nástrojů pro tvorbu digitálních modelů pro 3D tisk

Digitální modely pro 3D tiskárny lze získat i pomocí specializovaných nástrojů. Modely molekul mohou být vytvořeny buď z parametrů naměřených rentgenovou strukturní analýzou,

nebo může být tvar molekul nasimulován pomocí chemický programů. Takto vytvořené molekuly lze pak pomocí různých programů (VMD, Mercury, CID, Chimera, Jmol) převést na soubory vhodné pro tisk a po případné úpravě i vytisknout[65], [75]

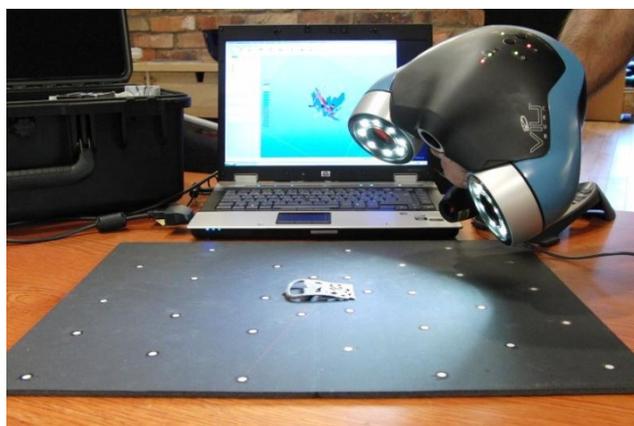
Dalším příkladem je pak použití matematického softwaru (Maple, Mathematica, MatLab) pro generování prostorových reprezentací matematických funkcí[78].

12.5.1.4 3D skenování

Pokud máme k dispozici fyzický objekt, který je potřeba zreplikovat (případně upravit a zreplikovat), můžeme využít 3D skenování (Obrázek 25). Pomocí speciálních nástrojů – 3D skenerů je možné přenést podobu fyzického objektu na síť bodů. Z této sítě se pak pomocí specializovaného software vytvoří *.stl soubor.

Alternativou drahých 3D skenerů je pak smartphone s nainstalovanou aplikací, která pomocí dat z fotoaparátu, kompasu a gyroskopů dokáže ze série fotografií předmětů vytvořit digitální model (např. aplikace 123D®Catch od firmy Autodesk®). Jako dobrý 3D skener se dá využít senzor Kinect[143] v kombinaci s vhodným software.

Práce s profesionálními 3D skenery je ale jednodušší, kvalita výsledných digitálních modelů také.



Obrázek 25: Pomocí 3D skeneru je převeden vnější povrch fyzického objektu do počítače jako síť bodů^{xiii}.

Pro potřeby tvorby modelů pro výuku chemie se neukázalo 3D skenování být efektivní cestou. Při 3D skenování dochází na povrchu modelu ke vzniku řady nepřesností a chyb, které je potřeba mnohdy komplikovaně a zdlouhavě odstraňovat. Vzhledem k tomu, že objekty

^{xiii}By Creative Tools from Halmdstad, Sweden - CreativeTools.se - VIUscan - Laser-scanned - ZPrinter - 3D printed - Viking Belt Buckle 24, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12419129>

vytvářené pro účely této práce jsou objekty geometricky pravidelné, nebo jsou popsatelné pomocí matematických rovnic, ukázalo se účelnější 3D skenování pro tvorbu těchto modelů nevyužívat.

12.5.1.5 Příprava dvoubarevných modelů pro FDM 3D tiskárny

Příprava modelů pro FDM 3D tiskárny vybavené dvěma extrudery se liší od přípravy digitálních modelů pro jednobarevné FDM tiskárny. Dvoubarevný model je vlastně složen ze dvou *.stl souborů, kdy v každém je uložena část modelu, která odpovídá jedné barvě. Tyto soubory jsou pak ve sliceru složeny dohromady a každá část je přidružena jednomu extruderu.

Při tvorbě *.stl souborů pro dvoubarevný tisk se postupuje tak, že se od celkového objektu odečtou díly, které mají být jednou barvou a zbytek se uloží jako barva druhá. Při tvorbě je potřeba zajistit, aby obě části na sebe dokonale navazovaly, měly stejný počátek souřadného systému, nikde se nepřekrývaly a na objektu nezbyly fragmenty o tloušťce menší, než je průměr trysky.

Tato úprava objektů je vhodná již při jejich navrhování modelu přímo v CAD softwaru. Úpravu již hotových modelů je možné dělat v programech jako je Meshmixer nebo NetFabb.

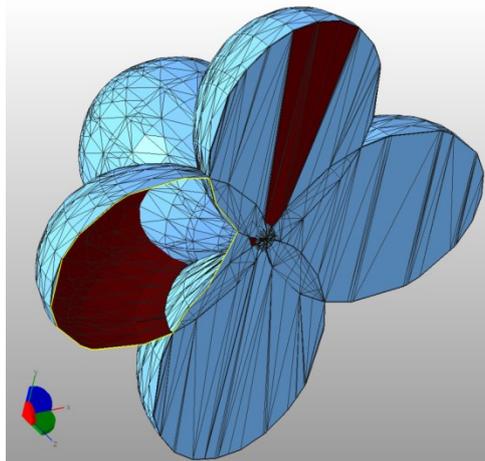
12.5.1.6 Oprava *.stl souborů

Pro další postup v procesu 3D tiskuje potřeba zkontrolovat, zda je *.stl soubor v pořádku, tedy zda neobsahuje chyby. Špatně definovaná síť digitálního modelu může vést k tomu, že slicovací program (slicer) nepozná, která část prostoru je vlastní objektu, a která patří k okolí. Výsledkem je pak změť překrývajících se vláken.

Správně definovaný model musí být „vodotěsný“, nesmí mít neuzavřené plochy. Dále musí být správně pospojované jednotlivé trojúhelníky sítě tak, aby na sebe navazovaly plochy „vnější“ a „vnitřní“. Dále je vhodné, aby v modelu nebyly dvouvrstvy s nulovou tloušťkou. Správně vytvořený digitální model také nesmí obsahovat zpětné průniky objektů do sebe – každý objekt musí být definován jednou skořepinou.

Programy generující *.stl soubory by sice tato pravidla měly dodržovat, ale modely stažené z internetu často tyto chyby obsahují.

Pro úpravu chyb se osvědčil program netFabb[106], který umí problémy detekovat a ve většině případů i automaticky opravit (Obrázek 26).



Obrázek 26: *.stl soubor se zvýrazněnými chybami v programu NetFabb, žlutá linie znázorňuje neuzavřenou plochu, červenou barvou je vyznačen „vnitřek“ objektu – horní část je tedy otočená. Uvnitř je vidět zpětný průnik těles do sebe. Takto připravený model nedokáže slicer správně interpretovat.

12.5.2 Úprava pro tisk – Slicování

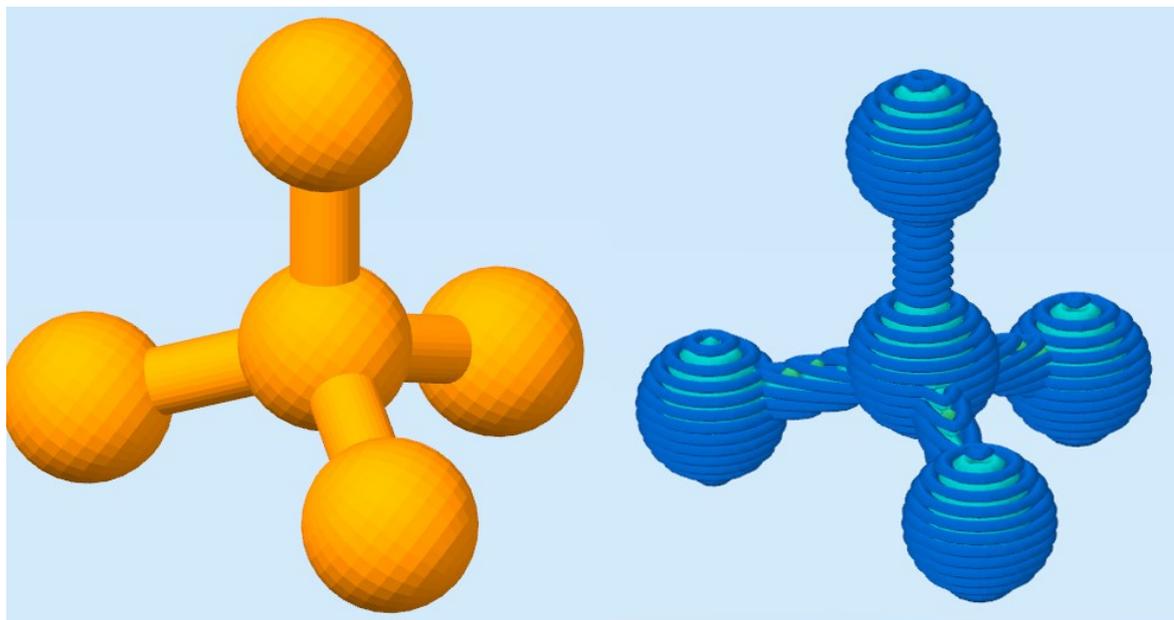
Instrukce, se kterými pracuje samotná 3D tiskárna se označují jako G-code. Jedná se o velmi primitivní jazyk, který v jednotlivých krocích instruuje tiskárnu, na kterou pozici má přesunout tiskovou hlavu a kolik mezitím má vytlačit vlákna. Kromě toho obsahuje G-code instrukce, pro jednotlivé obvody jako je topení, osvětlení, větráčky (Obrázek 27). G-code je textový soubor s jednotlivými instrukcemi, má příponu *.gcode.

```
M109 S210.000000      ;nastaveni teploty trysky
M190 S65              ;nastaveni teploty podlozku
M107                  ;vypni vetrak
G28 X0 Y0             ;dojed na zacatek v osach X/Y
G28 Z0                ;dojed na zacatek v ose Z
G1 Z15.0 F7200        ;posun podlozku o 15 mm niz
G92 E0                ;vynuluj pocitadlo vlakna
G1 F7200              ;nastav rychlost

;LAYER:0
M106 S255             ;zapni vetrak
G0 F7200 X105.625 Y92.676 Z0.300
G0 X105.625 Y93.596
G1 F1200 X105.625 Y92.676 E0.04590
G1 X108.581 Y91.177 E0.21125
G1 X111.169 Y91.177 E0.34037
G1 X114.125 Y92.676 E0.50572
...
```

Obrázek 27: Struktura *.gcode souboru, v první části se nastavuje tiskárna před tiskem, na konci je pak popsán vlastní pohyb tiskové hlavy a otáčení extruderu. Za středníkem je uveden komentář, co daný příkaz provádí.

Hotový a funkční *.stl soubor se na G-code převádí pomocí programu označovaného jako slicer. Zatímco *.stl soubor je univerzálně použitelný na jakémkoli počítači a 3D tiskárně, G-code je generovaný s ohledem na nastavení a konstrukci konkrétní 3D tiskárny. Je tedy nepřenositelný mezi jednotlivými typy 3D tiskáren. Například změna průměru trysky u dané tiskárny je důvodem k vygenerování nového G-codu s aktuálními parametry tiskárny.



Obrázek 28: Slicer rozdělí modelobjektu (vlevo) na jednotlivé tiskové vrstvy (vpravo). Vytvořeno pomocí programu Simplify3D

G-code soubory generují specializované programy označované jako slicery. Tento program rozdělí („naslicuje“) nahraný *.stl soubor podle nastavených parametrů na jednotlivé tiskové vrstvy (Obrázek 28) a vypočte dráhu tiskové hlavy v jednotlivých vrstvách. Kromě toho slicer přidá k modelu různé struktury, které pomáhají k větší úspěšnosti 3D tisku.

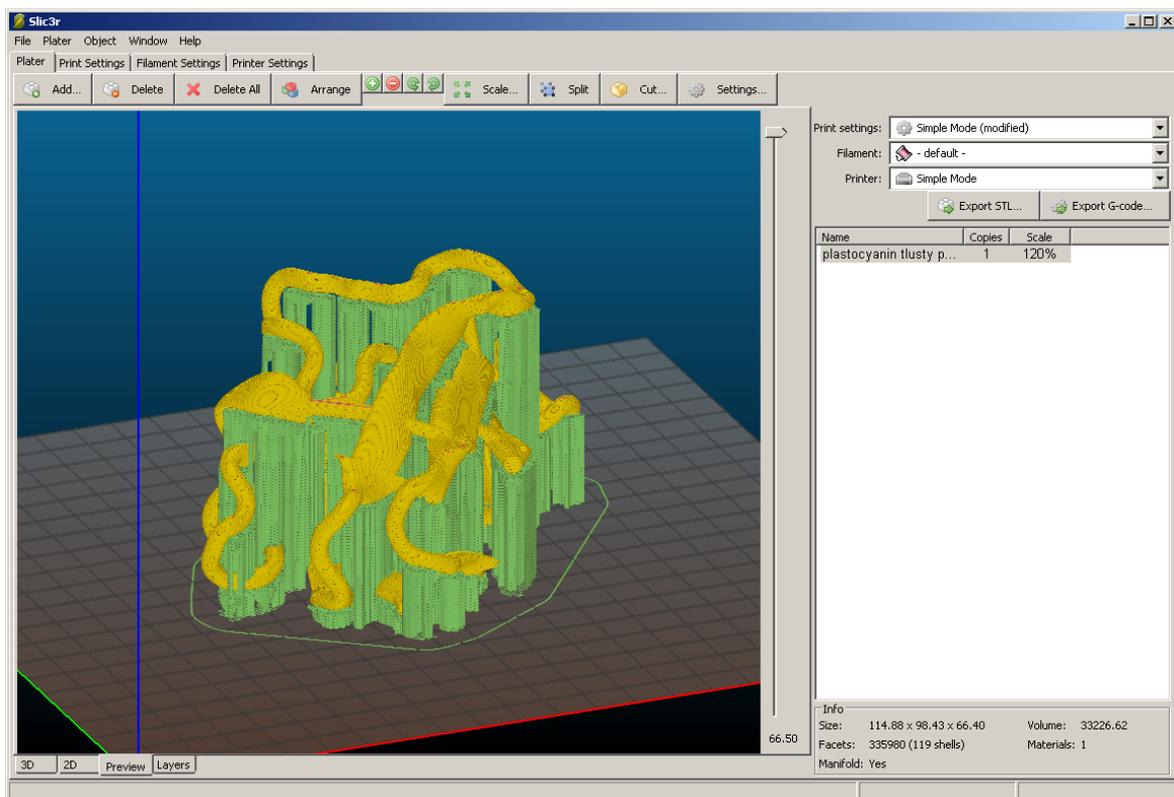
Někteří výrobci 3D tiskáren vyvíjí vlastní ovládací software pro 3D tiskárny (např. Ultimaker – Cura), časté ale je, že využívají freewarové slicery (Prusa research – Slic3r, Robox AutoMaker – Cura). Kromě freewarových programů jsou k dispozici i programy placené (např. Simplify3D).

Obecně jsou výpočty spojené se slicováním objektů poměrně náročné na výpočetní výkon počítače. Slicování modelu proteinu o velikosti 20 cm může trvat jednotky až malé desítky minut.

12.5.2.1 Slicovací programy

Slic3r

Slic3r je program, který se zrodil v roce 2011 spolu s projektem RepRap. Dnes se jedná o asi nejrozšířenější, univerzální slicer. Je to freewarový open source program. Řada výrobců si jej upravuje na míru svým tiskárnám. Nabízí velké množství různých uživatelských nastavení, díky komunitě uživatelů přibývají neustále další funkce[120]. Pro začátečníka může být Slic3r trochu nepřehledný, pokud ale lze k dané 3D tiskárně stáhnout již odzkoušený profil, není problém s nastavováním a iterováním vhodných podmínek pro tisk. Slic3r používat aniž by byl uživatel seznámen se všemi možnostmi a nastaveními (Obrázek 29). Bohužel neumí využívat k výpočtům více jader procesoru, je tedy pomalejší. Kromě samotného slicování umí přímo komunikovat s 3D tiskárnou a řídit jí, včetně změny některých parametrů (teplota trysky, rychlost tisku) během tisku.

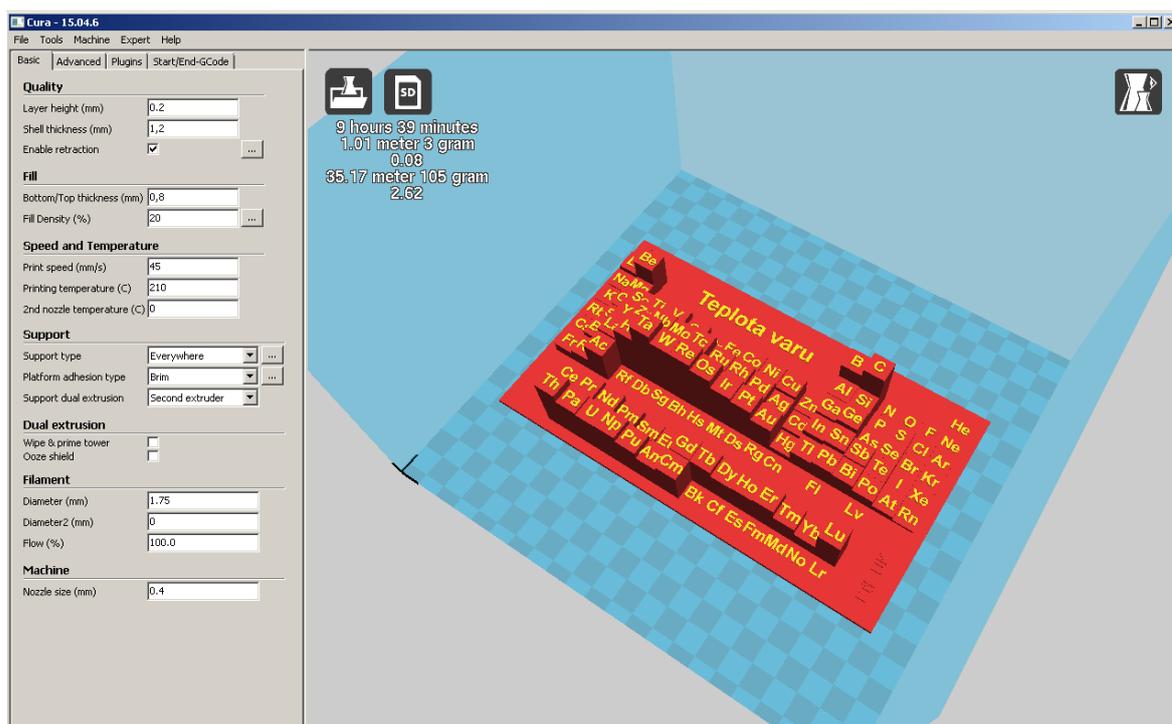


Obrázek 29: Prostředí programu Slic3r. Na obrázku je vidět model molekuly plastocyaninu připravený k tisku.

Cura

Cura je open source freeware slicovací program vyvinutý firmou Ultimaker B.V., primárně pro tiskárny tohoto výrobce. Sice jsou v programu přednastavené profily pro 3D tiskárny Ultimaker, je ale možné v programu nastavit jakoukoli jinou 3D tiskárnu. Tento program má méně možností nastavení než Slic3r, ale je uživatelsky poněkud příjemnější. Kromě jednoduchého módu, je možné jej přepnout do expertního módu s větším množstvím nastavení (Obrázek 30). Komunita uživatelů také vytváří různé nástroje, které je možné do programu přidat.

Program, podobně jako Slic3r, dokáže využít pouze jedno jádro procesoru, slicování je tak pomalejší. Kromě ukládání vygenerovaného *.gcode souboru je možné jej rovnou poslat do tiskárny, úprava různých nastavení během tisku ale už není možná[118].



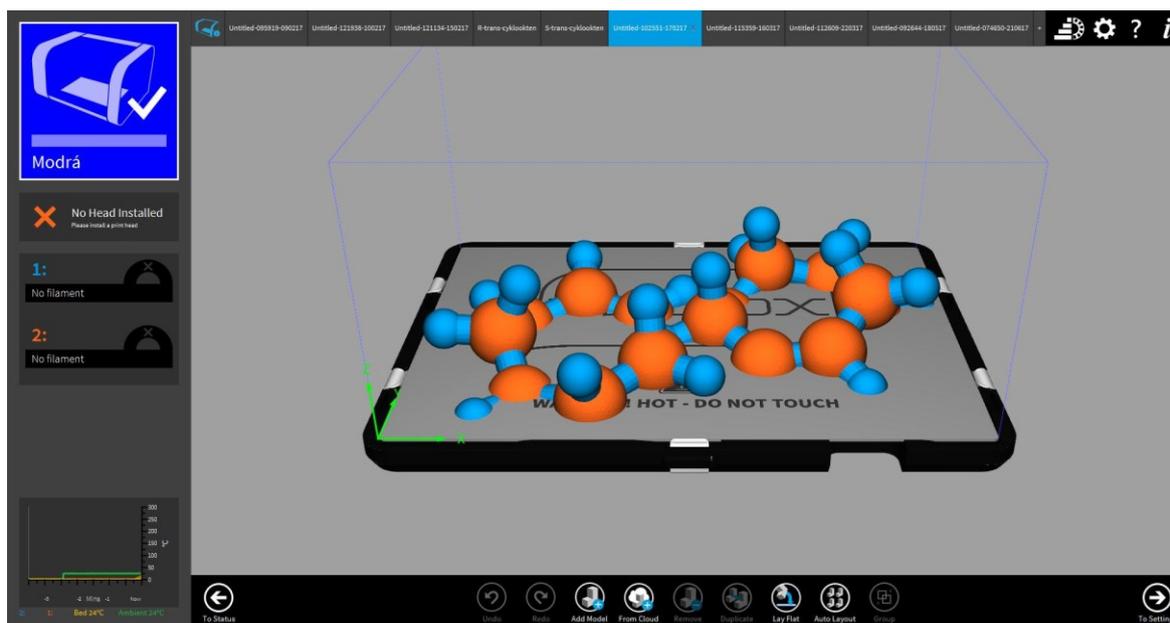
Obrázek 30: Prostředí programu Cura. Na obrázku je patrná dvoubarevná periodická tabulka. V levé části obrazovky jsou pak zřejmé jednotlivé parametry tisku.

AutoMaker

AutoMaker je freeware program vyvinutý firmou CEL Robox pro obsluhu její stejnojmenné tiskárny (Obrázek 31). Tato 3D tiskárna se od běžných 3D FDM tiskáren liší svou

komplexností a výrobci se právě chlubí obslužným programem, který zajišťuje jednoduchost použití. Tento program se nedá využít k obsluze jiné 3D tiskárny a naopak.

Jedná se o program s velmi intuitivním prostředím, který umožňuje tisknout i bez větších znalostí principu. Uživatel vybírá pouze kvalitu tisku, optimální nastavení tisku si tiskárna přečte z čipu ve špulce materiálu vložené do tiskárny. Zkušenější uživatel si pak může vytvářet vlastní profily, slicovací algoritmy ale AutoMaker přebírá z Cury, není zde příliš možností nastavení.



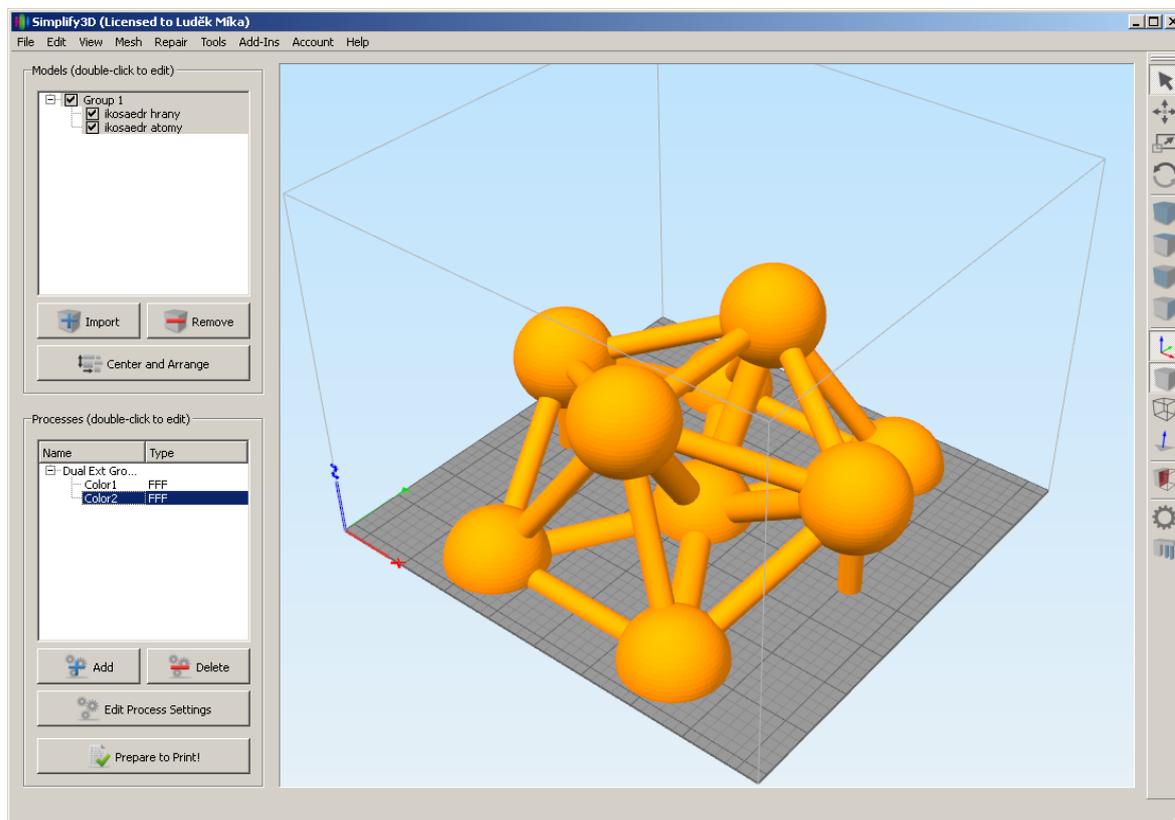
Obrázek 31: Prostředí programu AutoMaker.

Simplify3D

Simplify3D je placeným programem, v červnu 2017 byla cena licence \$149 (cca 3500 Kč). Výhoda placeného programu oproti freewarovým řešením je online podpora a vyzkoušené profily pro velké množství 3D tiskáren, což vede k úspoře času při iterování tiskových profilů. Program nabízí velké množství nastavení, specialitou je pak rozdělení tisknutých objektů na části, kdy se každá část tiskne s jiným nastavením (Obrázek 32). Program má také efektivnější slicovací algoritmy a dokáže využít všechna jádra procesoru najednou, slicování je zřetelně rychlejší. Trochu obtížnější je ale práce s modely, jejich zvětšování a otáčení, které lze provádět pouze zadáváním parametrů, nikoli volnou rotací (např. pomocí myši).

Kromě slicování zvládá Simplify3D také ovládat 3D tiskárnu a to včetně úpravy parametrů během tisku.

Program je vhodný hlavně pro zkušené uživatele, kteří narazili na omezení zmíněných freewarových variant.



Obrázek 32: Prostředí programu Simplify3D.

12.5.2.2 Postupy použití sliceru

Při přípravě modelu k tisku není možné pouze model vložit do programu a spustit tisk. Podle tvaru objektu a jeho symetrie je potřeba zvolit vhodné natočení objektu v tiskovém prostoru. Případně je potřeba k modelu přidat různé podpurné struktury, aby se objekt nezhroutil už při tisku. Podle typu, tvaru a určení modelu je také potřeba zvolit vhodné nastavení jednotlivých parametrů tisku.

Orientace na tiskové ploše

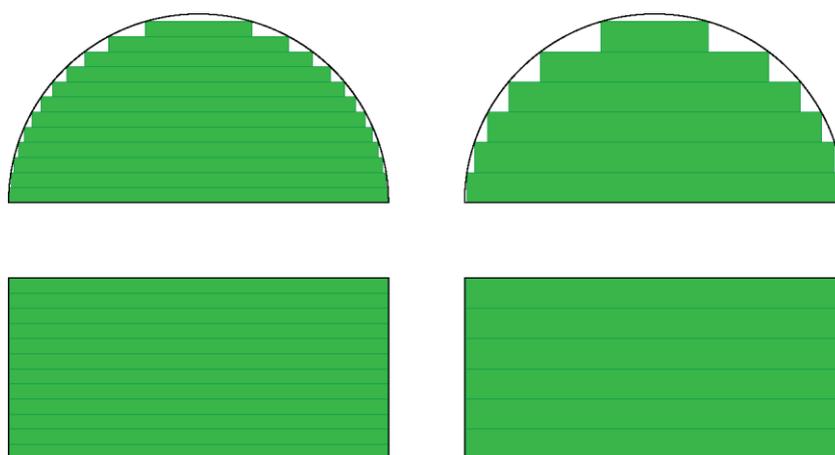
Obecné pravidlo pro orientaci objektu při tisku je takové, aby pokud možno rovnou plochou leželo na tiskové podložce, pak je nejmenší šance, že by se model při tisku od podložky odlepil. Dále je potřeba model na tiskové ploše nastavit tak, aby pro jeho tisk bylo potřeba použít co nejméně tiskových podpor, tedy aby měl co nejméně převislých částí. Na orientaci předmětu

také závisí jeho mechanická pevnost v různých směrech. Obecně platí, že pevnost je nejvyšší ve směru rovnoběžném s osami.

Pokud tisknutý model nemá žádnou rovnou plochu, na kterou by se dal „postavit“ na tiskovou plochu. Kulaté předměty se tisknou jen velmi obtížně, neboť mají malou styčnou plochu s podložkou a navíc s podložkou svírají malý úhel (je zde velký převis). Jednou z možností je rozříznout daný předmět rovinou na dvě části, kdy se každá část vytiskne samostatně a následně se slepí. Další možností je „ukotvení“ spodní části modelu do bloku vytvořeného z PVA.

Výška vrstvy

Jedná se o číslo, které definuje, na jak vysoké vrstvy bude slicer model řezat. Platí pravidlo, že čím je vrstva vyšší, tím hrubší je povrch vytisknutého modelu a naopak. Délka tisku je pak nepřímo úměrná tloušťce vrstvy; pokud snížíme tloušťku vrstvy na polovinu, tisk se prodlouží zhruba na dvojnásobek původního času.



Obrázek 33: Znázornění vlivu tloušťky vrstvy na výsledný povrch tisknutého předmětu v závislosti na jeho tvaru.

Ne vždy má smysl usilovat o co nejjemnější povrchy, např. v případě rovných stěn není rozdíl patrný. Použití tenkých vrstev je opodstatnitelné v okamžiku tisku zakulacených povrchů.

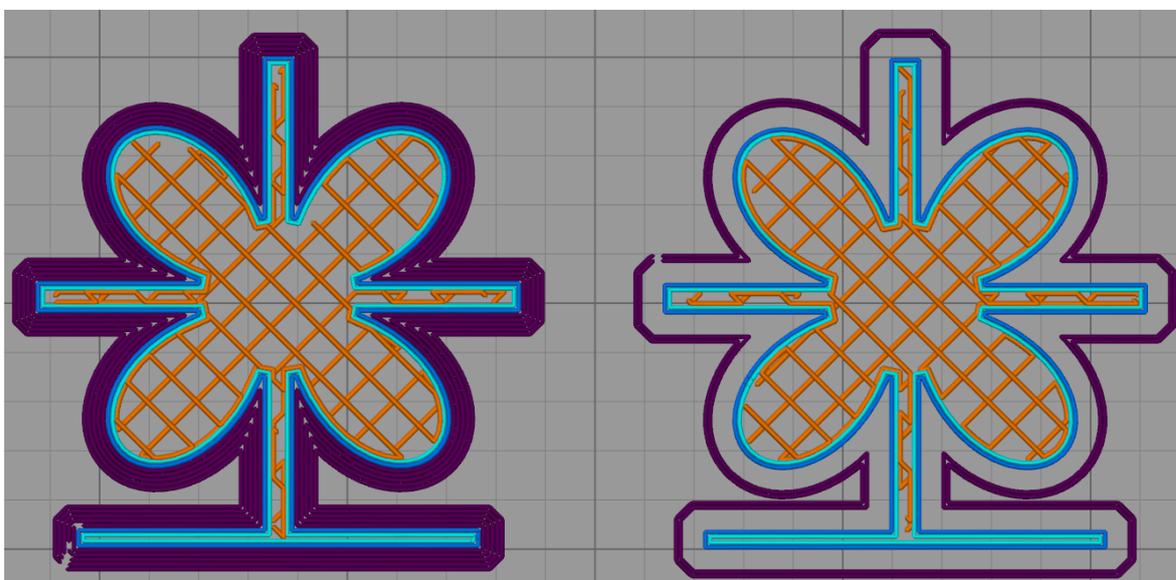
V závislosti na tiskárně a průměru trysky se tloušťka vrstvy pohybuje od 50 do 200 μm (pro trysku o průměru 0,4 mm), při použití trysky o průměru 0,8 mm je možné zvýšit tloušťku vrstvy až na 400 μm (Obrázek 33). Pro tisk pomůcek pro výuku chemie se osvědčily maximální možné tloušťky vrstvy, neboť se jedná o velké objekty, u kterých by použití malých

výšek vrstvy neúměrně zvyšovalo dobu tisku. U těchto předmětů navíc není důležitý dokonale vypadající povrch.

Povrch – Shell / perimetres

Při 3D tisku rozlišujeme jednotlivé části objektu: povrch, výplň, tiskové podpory (Obrázek 34).

Povrch je ta část objektu, která je vidět zvenku. Běžný postup 3D tisku je takový, že tisková hlava nejprve několikrát objede povrch modelu a následně vytvoří vnitřní podpurnou strukturu. Na tloušťce povrchu pak závisí pevnost modelu, tloušťka vrstvy je běžně násobek tloušťky trysky. Pro rozumnou pevnost modelu postačuje tloušťka povrchu o velikosti dvounásobku průměru trysky. Bylo zjištěno, že větší tloušťka nevede k pevnějšímu modelu.

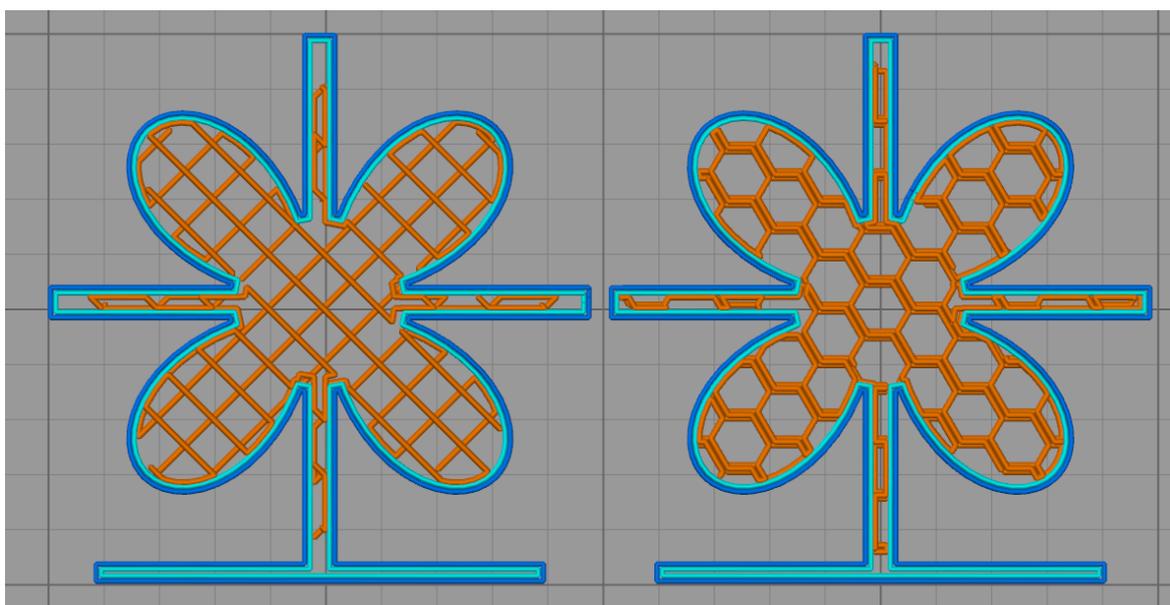


Obrázek 34: Struktura naslicovaného modelu. Oranžová – výplň (infil), modrá a tyrkysová – povrch (shell), fialová – na modelu vpravo krempa (brim), na modelu vlevo sukénka (skirt). Vytvořeno v programu Simplify3D.

Výplň - Infill

Pokud se nejedná o speciální záměr, nevyrábí se modely tak, že by jejich vnitřek 100% zaplněn materiálem. Toto by vedlo ke zbytečně těžkým (a tím pádem i drahým) modelům. Na druhou stranu není ani příliš běžné vyrábět modely duté, neboť ty ztrácejí částečně svou pevnost. Běžné je, že se uvnitř objektu vytiskne prostorová mřížka, která zvyšuje pevnost modelu a umožňuje jednodušší tisk převislých částí (Obrázek 35).

Tato část modelu se označuje jako výplň nebo Infill. Ve sliceru lze nastavit, jakou část objemu vnitřního prostoru má tvořit plast a jaký tvar má výplň mít. Pro velké modely se osvědčila hodnota kolem 15 %, pro modely molekul, kde jsou tenké vazby pak zhruba 30 %. Jako nejvýhodnější tvar výplně se osvědčila varianta rectilinear tedy systém rovnoběžných přímk, které jsou v každé vrstvě otočeny o 90° vůči vrstvě předcházející. Tato výplň je sice méně mechanicky pevná, ale napomáhá jednoduššímu uzavírání objektů. Jinou variantou je výplň ve tvaru včelí plástve (honeycomb). Tato výplň je mechanicky pevnější ale složitější s ohledem na uzavření objektu.

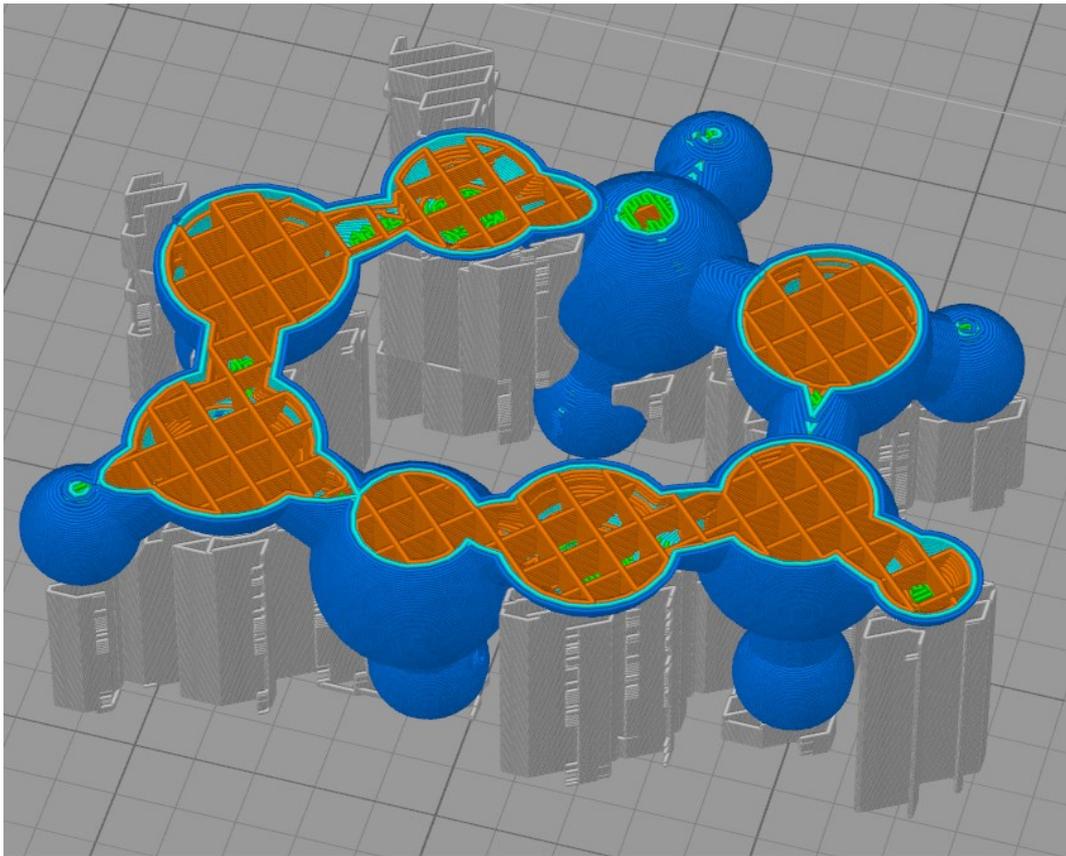


Obrázek 35: Různé tvary výplně vlevo rectilinear (pravoúhlé přímky), vpravo honeycomb (plástev). Vytvořeno v programu Simplify3D.

Tiskové podpory – Support

Zásadním problémem 3D tisku metodou FDM je skutečnost, že objekt musí začínat na pevné podložce. Pokud je tisknut objekt, který má části, které se nedotýkají podložky, a bylo by tedy nutné začít s jejich tiskem uprostřed volného prostoru, je potřeba vytvořit pomocnou konstrukci – tiskovou podporu (Support).

Tyto struktury automaticky generují slicovací programy, je ale potřeba zadat úhel převislé stěny, které je ještě tiskárna schopna vytvořit (Obrázek 36). Mnohdy jsou ale automaticky generované tiskové podpory nedostatečné a je potřeba upravit samotný model a podpory ručně nastavit.



Obrázek 36: Tiskové podpory (support) – šedivé struktury– umožňují tisk převyšlých částí modelů. Znáznorněná je jen část vrstev. Nahoře jsou patrné připravené tiskové podpory pro vyšší části modelu. Vytvořeno v programu Simplify3D.

V případě, že je 3D tiskárna vybavena jen jedním extruderem, tak se podpory vytváří ze stejného materiálu jako zbytek objektu. Pokud je ale 3D tiskárna vybavena více extrudery, je možné jeden z nich využívat pouze na tisk podpor a na tvorbu tiskových podpěr použít materiál s jinou odolností vůči chemikáliím než na samotný objekt. Vytisknutý objekt se i s podporami vloží do lázně s vhodným roztokem a podpory se nechají rozpustit. Běžná je kombinace materiálů PLA + PVA (Obrázek 37), kdy PVA je na rozdíl od PLA rozpustný ve vodě, kombinace ABS + PLA, kdy PLA je rozpustný v roztoku hydroxidu (10% NaOH) nebo kombinace ABS + HIPS kdy se HIPS (high impact polystyrene) dá rozpustit v limonenu.

Tento způsob je sice finančně a časově náročnější než běžný tisk s odlamovacími podpěrami, ale pomocí něj lze vytisknout i modely se složitou vnitřní strukturou.

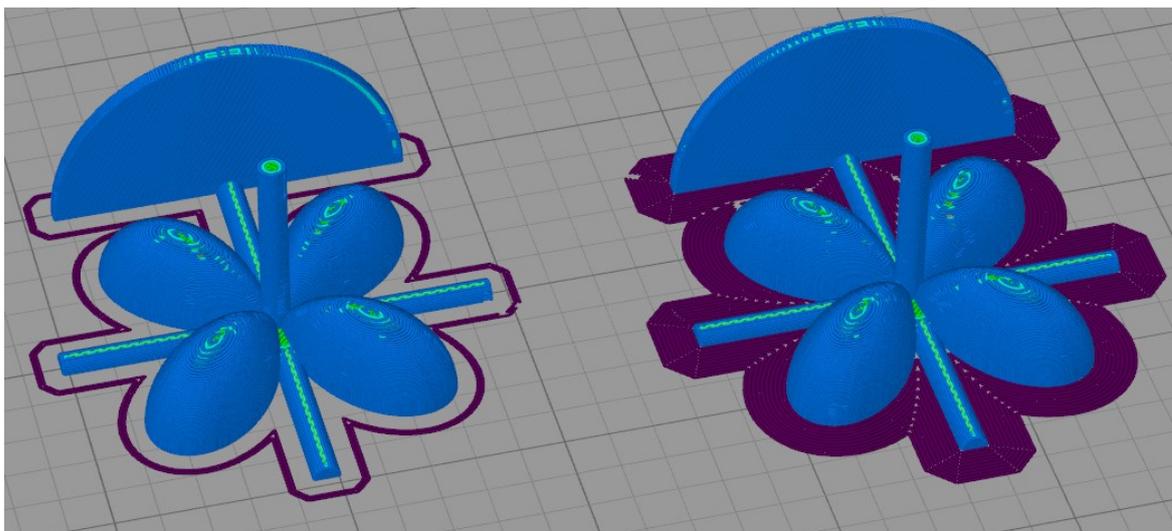


Obrázek 37: Model vytisknutý s podporami z ve vodě rozpustného PVA. Bílá část modelu je vytvořena z PLA, žlutá část jsou podpory z PVA.

Skirt, Brim – sukýnka, krempa

Pro kvalitní tisk je potřeba udržet uvnitř trysky stálý průtok a tlak vlákna. Na začátku tisku bývá ale tryska prázdná (trocha roztaveného plastu ukápně z trysky během zahřívání). Proto je výhodné nezačínat tisk rovnou samotným objektem, ale strukturou označovanou jako Skirt (tzv. sukýnka). Tryska na začátku samotného tisku objede v určité vzdálenosti obvod objektu, během této dráhy se stabilizuje průtok vlákna tryskou (Obrázek 38). Osvědčilo se vytisknutí dvou obvodů, na první pohled je pak vidět, jestli je dobře vyrovnaná tisková deska a jak dobře první vrstva drží na podložce. Pokud nikoliv, lze tisk zastavit a realizovat kroky vedoucí k nápravě problému.

Speciální variantou je struktura nazývaná Brim (tzv. krempa). Jedná se o stejnou strukturu, jako je sukýnka, nasedá ale rovnou na tisknutý objekt. Tím zvětšuje styčnou plochu objektu s podložkou a pomáhá stabilizovat vysoké objekty. Po vytisknutí se tato struktura z objektu odloupne a styčné místo se zahradí skalpelem nebo frézku.



Obrázek 38: Podpůrné struktury Skirt (sukýnka) vlevo a Brim (krempa) vpravo. Tyto struktury napomáhají ustálení toku roztaveného vlákna v trysce a v případě krempy k pevnějšímu uchycení modelu k tiskové podložce. Vytvořeno v programu Simplify3D.

12.5.2.2.1.1.1 Chlazení modelů

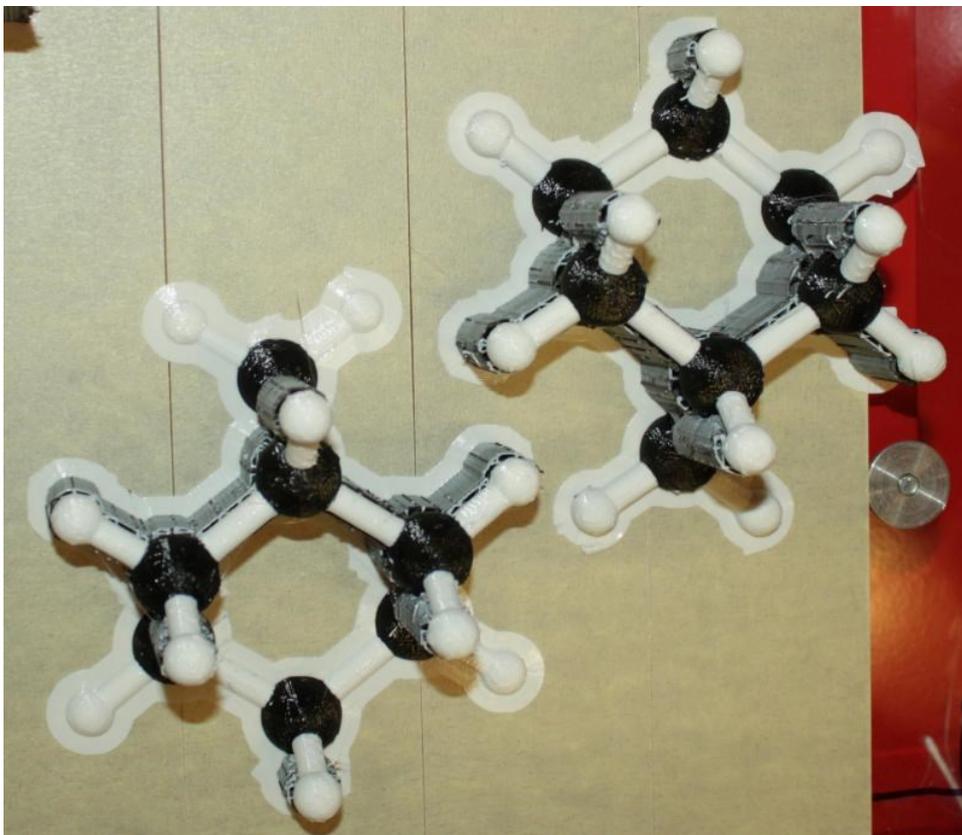
Při tisku je důležité, aby roztavený materiál byl nanášen na již vychladlé místo. Pokud by tomu tak nebylo, dochází k nalepování materiálu na povrch trysky a ve výsledku dojde ke zničení povrchu modelu. Z tohoto důvodu je hlava 3D tiskárny vybavena větráčkem, který (na základě instrukcí z G-codu) žene studený vzduch na místo tisku. Při tisku velkých modelů, nebývá s uchazením materiálu problém. V případě, že na tiskové ploše je jen jediný objekt o malém průměru (např. osa z orbitalu), je potřeba intenzivně chladit, snížit rychlost tisku a případně někde vedle modelu nechat tisknout ještě jeden podobný objekt, aby nanesený plast měl čas vychladnout.

12.5.2.2.1.1.2 Řezání digitálních modelů před tiskem

Rozdělení digitálního modelu rovinou na dvě části je nutné u modelů, které nemají žádné rovné plochy, kterými by mohly být pevně přichyceny k tiskové podložce. Při výběru roviny řezu je vhodné použít takovou rovinu, která rozdělí objekt na dvě kompaktní části, aniž by vznikly ostrůvky, které se následně špatně přilepují ke zbytku modelu. Při řezání je také vhodné vést rovinu řezu tak, aby vzniklé poloviny v ideálním případě neměly žádné převisy, aby je bylo možné vytisknout bez podpor (Obrázek 39).

Při tisku se osvědčilo nastavení, kdy spodní části objektu (ty které budou následně přilepeny k sobě) nejsou vyplněny materiálem, ale pouze výplní. Toto vede k šetření materiálu, zkrácení

doby tisku a bylo vyzkoušeno, že spoje jsou stejně pevné, ne-li pevnější, než když se lepí objekty s plnými plochami. Absence materiálu se také projevuje tím, že modely mají menší tendenci se při tisku ohýbat vlivem smršťování při chladnutí.



Obrázek 39: Ukázka způsobu rozříznutí netisknutelného digitálního modelu na dvě tisknutelné části. Na obrázku jsou zřetelné tiskové podpory a podpůrné struktury typu brim (krepka).

Na umístění řezů je vhodné myslet již při modelování, na řezání již hotových modelů se osvědčil program netFabb.

12.5.3 Příprava vlastní 3D tiskárny a vlastní tisk

Co se obsluhy 3D tiskárny týče, bohužel zatím nejsou na stejné úrovni jako například běžné kancelářské tiskárny. Před vlastním tiskem je potřeba 3D tiskárnu pečlivě připravit. Zatímco některé úkony (jako je na příklad vyrovnávání tiskové desky) je potřeba provádět jen jednou za čas, jiné je potřeba provést před každým tiskem.

12.5.3.1 Vyrovnání tiskové desky

Pro úspěšný tisk je nutné, aby rovina, ve které se pohybuje tryska, byla dokonale rovnoběžná s rovinou desky, aby nedocházelo k tomu, že se bude tryska k desce přibližovat a vzdalovat.

Také je nutné, aby po nastavení trysky do nulové výšky, byla tryska ve vhodné vzdálenosti od desky. Proces vyrovnávání tiskové desky se liší podle toho, jestli se musí provádět manuálně, nebo probíhá automaticky.

3D tiskárny s automatickým nastavením vyrovnání desky jsou vybavené snímačem vzdálenosti trysky od desky a před tiskem tuto vzdálenost změří na několika místech na desce. Podle změřených hodnot poté upravují při tisku výšku trysky pomocí motorů. Z používaných tiskáren má automatickou kalibraci pouze tiskárna CEL Robox. Ukázalo se ale, že automatická kalibrace nefunguje ve všech případech úplně ideálně, neboť dochází vlivem tepla k prohýbání tiskové desky a při tisku není první vrstva rovnoměrná po celé ploše. Toto nelze na rozdíl od tiskáren bez automatického vyrovnávání desky odstranit zásahem uživatele.

U tiskáren bez automatické kalibrace výšky desky se pro nastavení používají šrouby ze spodní tiskové desky, kterými se určitá část desky zvedá nebo snižuje. Kalibraci pak napomáhá ovládací program tiskárny, který přesouvá trysku nad šrouby. Většinou se tiskárny kalibrují tak, aby mezi tryskou v nulové výšce a deskou právě prošel list kancelářského papíru.

Naštěstí se vyrovnávání tiskové desky nemusí provádět příliš často, obvykle maximálně jednou za měsíc. To, jestli je dobře vyrovnaná tisková deska se dá dobře vizuálně poznat při tisknutí sukýnky (skirt). Pokud se jednotlivé obvody dobře spojují, je vše v pořádku.

12.5.3.2 Vkládání vlákna a čištění trysky

Při vkládání vlákna opět musíme tiskárny rozdělit na ty, které mají automatické vložení vlákna (CEL Robox) a ty s manuálním vkládáním vlákna. U tiskárny CEL Robox stačí připojit špulku s materiálem k tiskárně a vložit konec vlákna do příslušného otvoru. Všechny procedury spojené se zpracováním vlákna pak tiskárna provede sama. Čištění trysek pak probíhá automaticky po spuštění procesu „purge“ v ovládacím software tiskárny.

V případě jednodušších tiskáren je potřeba nejprve zahřát trysku, následně uvolnit mechanismus posunující vlákno v extruderu a ručně vlákno vložit. Pro jednodušší vkládání se osvědčilo pomocí štípacích kleští zastrihnout konec vlákna do špičky. Po vložení je vhodné vytlačit ručně z trysky takové množství materiálu, aby byla tryska čistá.

V případě, že dojde k ucpání trysky, pomáhá odšroubování trysky a ponechání v horkém acetonu. Nečistoty blokující průtok vlákna se buď úplně rozpustí, nebo naleptají natolik, že jdou vytlačit pomocí tenkého ocelového drátku.

V případě ucpání trysky v tiskárně CEL Robox bývá čištění náročnější a zahrnuje posílání různých příkazů G-code z ovládacího programu do 3D tiskárny. Toto ale není vhodný způsob pro nezkušené uživatele, protože může dojít k poškození tiskárny.

Příprava tiskové podložky

Dva nejobtížnější, a technicky dosud ne zcela vyřešené aspekty 3D tisku jsou, jak udržet objekt na podložce, a jak ho pak sundat. Při tisku je nezbytné, aby objekt byl pevně přilepen na podložku, aby nedocházelo k jeho posuvům. Pokud by docházelo k posuvům během tisku, dojde k tomu, že na sebe vrstvy nebudou dokonale navazovat, nebo dokonce na sobě vůbec nebudou držet (Obrázek 40).



Obrázek 40: Posun vrstev vlivem špatného přilepení tisknutého modelu k podložce.

Jako tisková podložka se nejčastěji používá skleněná deska, případně epoxidové desky podobné deskám na výrobu tištěných spojů. Pro zvýšení adheze roztaveného plastu se používají různé metody:

1. Malířská papírová páska, kterou se pokryje celá podložka. Dobře funguje při tisku z PLA při výrobě menších objektů s malou styčnou plochou.
2. Různá lepidla, která se nanášejí na tiskovou plochu. Často se používají lepidla na papír na bázi PVA, spreje na vlasy, specializované spreje, nebo jen roztok ABS v acetonu. Tyto lepidla jsou kompatibilní s vyhřívanou podložkou, kombinace vyhřívané podložky a dobrého lepidla

vede k reprodukovánému tisku předmětů s velkou styčnou plochou. Pro tisk se asi nejvíce osvědčilo školní lepidlo na papír od firmy Elmer's (Obrázek 41), ostatní běžně dostupná lepidla vykazovala menší účinnost. Nicméně tento, tento přístup vyžaduje určitou zkušenost a zkoušení, neboť využití nevhodného lepidla může vést k poškození tiskové plochy. Dnes se ale na trhu začínají objevovat speciální přípravky určené přímo pro 3D tisk.



Obrázek 41: Školní lepidlo na papír firmy Elmer's.

3. Vyhřívaná deska, která pomáhá hlavně při použití lepidel. V ideálním případě jsou předměty na desce pevně přilepené, pouze pokud je deska teplá. Jakmile vychladne, měly by jít jednoduše sundat, odlepit. Použití vyhřívané desky je navíc nezbytné v případě tisku větších objektů, kdy vlivem smršťování plastu při ochlazování dochází k odtržení předmětů od podložky. Zvláště patrné je to na rohách vytisknutých předmětů.

Jako nejjednodušší způsob odlepování vytisknutých předmětů z desky se osvědčilo nechat desku i s předmětem vychladnout a oddělit je pomocí ostré malířské špachtle případně odlamovacího nože.

Při každém oddělování vytisknutého předmětu od podložky dochází k ulpění části lepidla na předmětu, vrstvu lepidla je tedy potřeba po několika tiscích obnovit. Zároveň dochází k degradaci lepidla a postupnému znečištění desky mastnotou a prachem. Proto je potřeba tiskovou desku jednou za čas umýt, osvědčila se teplá voda a saponát a následné opláchnutí ethanolem pro rychlé vysušení.

12.5.4 Úprava modelu po tisku – post-processing

Některé modely lze po vytisknutí rovnou využít tak, jak jsou, ale u většiny modelů je potřeba je ručně poupravit tak, aby splňovaly kladené požadavky na kvalitu tisku a následné použití

předmětu. V některých případech se jedná pouze o odstranění drobných kosmetických vad, v jiných případech je potřeba odřezat četné tiskové podpěry a jiné struktury podporující dobré vytisknutí. Pokud byl model vytisknut ve více částech, je potřeba tyto části slepit a na konec upravit drobné kosmetické vady, jako jsou třeba vystouplé vrstvy apod. V případě komplexnější úpravy modelu je post-processing časově i technicky poměrně náročnou částí tiskového procesu.

12.5.4.1 Odstraňování tiskových podpěr

Pokud je slicer dobře nastavený, tak není nijak obtížné tiskové podpěry odstranit. Ty jsou programovány tak, aby se s objektem stýkaly v nejmenší možné ploše. Samotné podpory jsou daleko méně pevné než objekt samotný, většinou praskají samy po aplikaci většího tlaku např. pomocí kleští. Styčné plochy je pak potřeba srovnat pomocí skalpelu, odlamovacího nože nebo pomocí frézy. Na odstraňování se také osvědčila různá malá dlátka.

Problematické je odstraňování tiskových podpěr zevnitř různých špatně dostupných prostorů, jako jsou např. vnitřky krystalové mřížky nebo vnitřky α -helixů na modelech bílkovin. V těchto případech je vhodnější použít tisk s podpěrami z PVA rozpustnými ve vodě.

Lepení

Pro lepení jednotlivých částí modelu vytisknutého z PLA se osvědčilo lepidlo na tvrdé plasty od firmy Ceys (Obrázek 42). Toto lepidlo tuhne cca 15 minut, je tedy dost času nanést jej po celé lepené ploše a model slícovat. Poté je potřeba model zafixovat, k tomuto účelu se osvědčily běžné kolíčky na prádlo a plastové upínací svorky různých velikostí. Lepidlo i po ztuhnutí je poměrně flexibilní, případné kapičky lepidla vytlačené ze spár na modelu lze jednoduše odstranit nožem.



Obrázek 42: Lepidlo na tvrdé plasty firmy Ceys.

Pro menší opravy se osvědčilo vteřinové lepidlo, případně v kombinaci s aktivátorem. Toto lepidlo se nehodí na velké plochy, kdy ztuhne dříve, než je nanášeno na celou lepenou plochu. Použití lepidla na bázi epoxidové pryskyřice se také příliš neosvědčilo, neboť lepidlo naleptalo vytisknutý model za vzniku nevzhledných hnědo-šedých fleků.

Vyhlazování acetonem

Metoda využitelná pouze pro modely vytisknuté z ABS. Využívá se zde rozpustnosti tohoto plastu v acetonu. Model se uzavře do nádoby spolu s acetonem nasáklým do buničiny a odpařování acetonu se podpoří zahřátím. Páry acetonu pak pomalu kondenzují na povrchu modelu, který naleptávají, naleptaný plast se pak slije do jednolitě vrstvy a zahladí vrstvičky vzniklé při tisku. Model po vyhlazování je potřeba nechat opět vytvrdnout na vzduchu. Výsledkem tohoto procesu je lesklá hladká plocha modelu.

Úprava pomocí 3D pera

Ne vždy dopadne 3D tisk úplně dokonale podle představ tvůrce, vzniklý model ale nemusí být úplně na vyhození. V tomto případě může pomoci „domodelování“ různých struktur a špatně líčujících částí ručně pomocí 3D pera. 3D pero funguje na stejném principu jako extruder 3D tiskárny, tedy motorek, který tlačí tiskové vlákno skrz vyhřívanou trysku. Pozice pera pak není nastavována pomocí motorků, ale jeho manuálním (ručně) posouvám v prostoru.

Výhodou je použití stejného materiálu, ze kterého je model vytisknut, výsledek pak závisí pouze na šikovnosti operátora.

Úprava pomocí pájky

Tato úprava je vhodná na zahlazování různých nerovností na povrchu modelu, případně na zalepování menších děr. Pro tuto metodu je vhodné použít pájku s možností nastavení teploty hrotu, neboť hrot běžné pájky je příliš horký a při styku s plastem jej rozkládá za vzniku páchnoucích plynných produktů. Tuto úpravu je vhodné realizovat v dobře odvětrávaném prostoru nebo v digestoři.

Frézování

Na různé úpravy se také osvědčilo použití mikrobrusky Dremel s nasazenou ocelovou frézku nebo ocelovým řezným kotoučem. Frézka je vhodná na zhlazování různých nerovností, například na odstraňování zbytků tiskových podpor, které není možné odstranit pomocí nože.

Při práci s bruskou je potřeba dbát na to, aby nedošlo k přehřátí nástroje a následné natavení materiálu na hrot frézky. Jako optimální se ukázala rychlost 15 000 otáček za minutu.

12.6 Tvorba modelů

V rámci práce a testování 3D tiskáren bylo vyzkoušeno mnoho přístupů k vytváření modelů a pomůcek pro výuku chemie. Byly vybrány vhodné modely pro výuku chemie, tyto modely byly navrženy tak, aby byly didakticky vhodné pro výuku chemie, aby byly odborně správné, a aby po technické stránce byly vytisknutelné s využitím běžně dostupných metod a programového vybavení dostupného učitelům SŠ a ZŠ.

Byly vyzkoušeny již publikované přístupy pro tvorbu modelů molekul a tyto postupy byly zdokonaleny. Dále byly vyvinuty nové metody výroby prostorových modelů a tyto metody byly odzkoušeny a zdokonaleny.

Bylo vytvořeno několik unikátních modelů pro výuku chemie na základních, středních a vysokých školách, některé přímo na přání učitelů.

12.6.1 Modely tvarů molekul podle teorie VSEPR

Tyto modely byly vytvořeny jako učební pomůcky pro výuku tvarů molekul a teorie VSEPR. Jedná se o modely jednotlivých základních i odvozených tvarů molekul, jak vyplývají z teorie VSEPR, kde napomáhají žákům představit si, jak vypadají jednotlivé molekuly v prostoru (



Obrázek 43). Tyto modely jsou určeny jak pro demonstraci učitelem (velikost modelů až 20 cm) nebo pro samostatnou práci žáků (sada modelů o velikost 8 cm).

Všechny modely byly vytvořeny naprogramováním a vymodelováním v programu OpenSCAD[109], kde bylo využito symetrie jednotlivých modelů. Modely byly vytvořeny parametricky, velikost modelu, průměr vazeb a průměr jednotlivých atomů lze jednoduše upravit změnou odpovídajícího parametru – průměr atomu, délka vazby, průměr vazby.

Tyto modely jsou zejména vhodné pro vícebarevné tiskárny, kdy je vhodné znázornit centrální atom a atomy navázané různými barvami což vede k lepší názornosti modelu (Obrázek 43).

Vzhledem k tomu, že tyto modely nemají žádnou rovnou plochu, kterou by mohly být orientovány na tiskové ploše, je vhodné je před tiskem rozříznout na dvě poloviny a po tisku slepit. Pokusy o vytisknutí molekul vcelku ale byly poměrně úspěšné, bylo pouze nezbytné přidat krempu (brim) a tiskové podpory a modely následně upravit pomocí frézy a 3D pera a zakulatit plochy, které se dotýkaly tiskové podložky.



Obrázek 43: Model molekuly s hybridizací sp^3d^2 .

Vytvořená sada modelů byla zveřejněna na serveru www.thingiverse.com, kde je volně dostupná. Modely si již stáhlo přes 500 uživatelů (údaj z června 2017).

12.6.2 Modely pro výuku symetrie koordinačních částic

Tyto modely byly vytvořeny pro výuku koordinační chemie na VŠ. Jedná se modely různých tvarů koordinačních částic (tetraedr, oktaedr, trigonální bipyramida, dodekaedr), které jsou vytvořené tak, že obsahují tunely, kterými se dá protáhnout tyčinka znázorňující osu rotace. Na modelech jsou pak patrné rotační osy symetrie, jejich počet, směr a četnost. Modely byly zamýšleny jako demonstrační o velikosti okolo 20 cm (Obrázek 44).

Digitální modely byly vytvořeny pomocí programu OpenSCAD za využití matematických pravidel popisujících jednotlivé tvary. Modely byly vytvořeny ve variantě pro dvoubarevný tisk pro znázornění samotné molekuly a geometrického útvaru, který je molekule opsán. Modely byly naprogramovány parametricky, je tedy možné změnit velikosti různých částí nezávisle na sobě.

Kvůli velikosti a tvaru modelů (které nemají nikde rovnou plochu, na které by šel model umístit na tiskové ploše), byly modely vytvořeny ze dvou částí, které byly po tisku slepeny dohromady. Model byl slicován programem Cura, vzhledem k absenci vyhřívané tiskové podložky byl model následně opraven pomocí 3D pera.



Obrázek 44: Model oktaedrického komplexu se tunílkou vytvořenými v místech rotačních os.

12.6.3 Modely anorganických a organických molekul vytvořené na základě krystalografických dat

Jako zdrojová data pro tvorbu modelů anorganických a organických molekul mohou sloužit buď data z rentgenové strukturní analýzy (z krystalografické databáze nebo data naměřená), nebo data vytvořená specializovanými programy určenými pro výpočet tvary molekul na základě kvantově-chemických výpočtů. Zpracování dat z obou zdrojů je velmi podobné.

Zpracováním dat z krystalografické databáze a jejich převodu do *.stl souboru se zabývá mnoho autorů [65], [66], [73]–[75]. V principu se ale jedná o stejný postup, který má následující kroky:

1. Pomocí zobrazovacího programu (viz dále) je z krystalografického souboru vybrána potřebná část molekuly a je vytvořen soubor *.stl.
2. Soubor *.stl je opraven tak, aby byl použitelný pro 3D tisk, zvětšen a zorientován v prostoru.
3. Opravený *.stl soubor je připraven k tisku a vytisknut.

Pro jednotlivé části převodu mohou být používány různé programy, jejichž použití vede ke stejným cílům. Pro převod molekuly ze souboru standardních krystalografických dat (soubor *.cif- crystalographic information file) může být použit program CCDC Mercury[65], [74], Visual Molecular Dynamics (VMD)[73], [112], VESTA[66] nebo Jmol[75], [144]. Každý z těchto programů má svá specifika ovládání a generuje *.stl soubory s určitými chybami. Na

opravu chyb ve vygenerovaných souborech *.stl jsou použity software typu netFabb, Blender nebo MeshMixer.

Bohužel až na výjimky jsou k vytváření digitálních modelů využívány specializované placené programy. Z tohoto důvodu se pro přípravu modelů nejvíce osvědčil modifikovaný postup publikovaný v literatuře[73].

12.6.3.1 Postup tvorby digitálního modelu molekul z krystalografických dat

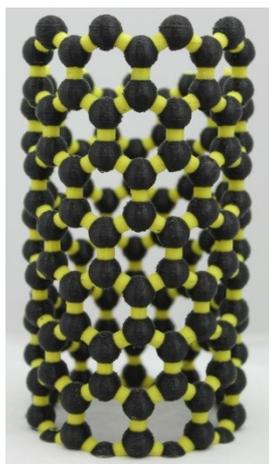
Následující postup vytváření modelů se ukázal jako efektivní a vhodný pro přípravu modelů.

Výchozí soubor krystalografických dat byl nejprve otevřen v programu DiscoveryStudio[111], kde byly smazány nadbytečné atomy a molekuly (např. molekuly krystalové vody). Molekula byla následně uložena do formátu *.pdb. Tento soubor byl otevřen v programu VMD [112], kde byla molekula vykreslena jako soustava kuliček a vazeb (CPK) případně pouze pomocí kuliček (zobrazení kovalentních poloměrů). Průměry atomů a vazeb byly upraveny tak, aby byl model názorný a zároveň, aby vazby nebyly příliš tenké a model byl dostatečně pevný (konkrétní nastavení závisí na velikosti molekuly a výsledné velikosti fyzického modelu), nicméně vytvořené modely publikované na www.thingiverse.com jsou vytvořené dobře. Rozlišení pak bylo nastaveno na hodnotu 64. Toto sice vede k většímu souboru, ale zároveň nejsou na atomech viditelné plošky. V zobrazení bylo vypnuto zobrazení souřadných os (v případě jejich nevypnutí se vyrenderují do výsledného souboru i s molekulou). Celé zobrazení bylo následně vyrenderováno jako soubor *.stl.

Takto vygenerovaný soubor je prakticky netisknutelný, protože při převodu z molekuly na *.stl soubor se ztratilo měřítko a navíc jednotlivé atomy reprezentované koulemi a vazby reprezentované válci se volně pronikají. Vytvořený *.stl soubor je potřeba nejprve opravit.

K opravám *.stl souborů se osvědčil program NetFabb, pro samotné opravy stačí jeho freewarová verze, pro přípravu modelů pro dvoubarevný tisk je ale potřeba jeho placená verze. Nejprve je potřeba zvětšit model na požadovanou velikost, následně se provede automatická oprava objektu. Pokud nově vytvořený objekt neobsahuje chyby, je možné jej uložit do nového *.stl souboru, naslicovat a vytisknout. Většinou ale nejde modely molekul vytisknout přímo, je potřeba je nejdříve rozdělit rovinou na dvě části, ty vytisknout separátně a následně slepit.

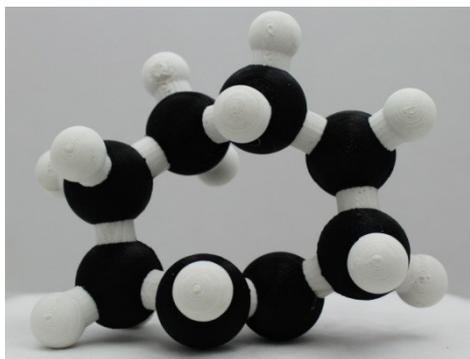
Tímto způsobem byla vytvořena sada modelů demonstrující jednotlivé krystalové modifikace uhlíku – grafit, diamant, fulleren, nanotrubičky (Obrázek 45).



Obrázek 45: Model uhlíkové nanotrubičky vytvořený z krystalografických dat.

12.6.4 Modely anorganických a organických molekul na základě vypočtené geometrie

Pro vytvoření modelů anorganických a organických molekul nemusíme využívat pouze data pořízená rentgenovou difrakcí. Tvar jednotlivých molekul může být určen na základě různých kvantově-mechanických výpočtů. Tyto modely mohou být vytvořeny na základě strukturních vzorců vytvořených v různých chemických programech. Na tvorbu a optimalizaci tvaru molekul se osvědčil balík programů ChemOffice (placený) nebo kombinace freewareových programů ChemSketch a ArgusLab. Molekuly byly po optimalizaci geometrie uloženy ve formátu *.pdb a dále byly zpracovány podle výše zmíněného postupu.



Obrázek 46: Model molekuly cyklooktenu vytvořený na základě vypočtené geometrie molekuly.

Tímto způsobem byla vytvořena sada modelů demonstrující různé izomery cyklooktenu (Obrázek 46). Tyto modely byly vytvořeny ve formě pro jednobarevný i dvoubarevný tisk, kde lépe vyniknou rozdíly mezi atomy vodíku a atomy kyslíku a podpoří názornost celého modelu. Vytvořená sada modelů byla zveřejněna na serveru www.thingiverse.com, kde je volně dostupná. Modely si již stáhlo okolo 150 uživatelů. (údaj z června 2017).

12.6.5 Modely struktur proteinů

Jako zdroj dat pro modely struktur proteinů byla použita veřejně dostupná databáze krystalových struktur proteinů PDB (protein data bank). Stažený soubor byl otevřen v programu VMD[112]. Zde byly odstraněny nepotřebné molekuly (voda apod.). Vlastní protein byl zobrazen metodou New Cartoon, tloušťka byla nastavena tak, aby zůstala zřetelná struktura proteinu. Protein byl následně vyrenderován do formátu *.stl.

Model proteinu byl následně upraven v programu netFabb Private[106] na svou výslednou velikost a k proteinu byly přikresleny různé spojky, které zpevňují výsledný protein (spojky byly většinou kresleny na místa vodíkových můstků), aby se model nerozpadl během tisku a následných manipulací. Upravený model byl opět uložen ve formátu *.stl.

K tisku byl protein slicován pomocí programu Cura[118]. Pro tisk tohoto typu modelů se ukázalo zásadní využití dostatečného množství tiskových podpor. Také byly tyto modely dělány pevnější (využito více materiálu vyplňující dutiny) než je u modelů běžné.



Obrázek 47: Výsledný vytisknutý model proteinu plastocyaninu.

Po vytisknutí a konečné úpravě (odstranění tiskových podpor, vyhlazení povrchu) byl model nastříkán bílou matnou základovou barvou. Následně byly jednotlivé části proteinu nabarveny akrylátovými barvami. Barvy jednotlivých struktur byly voleny dle běžných konvencí (Obrázek 48).

12.6.6 Modely orbitalů

Orbital je definován jako část prostoru s danou pravděpodobností výskytu daného elektronu. Z řešení Schrödingerovy rovnice pro jednoelektronový systém lze získat vlnovou funkci jako součin radiální složky a sférické harmonické funkce. Tvar orbitalu pak odpovídá absolutní

hodnotě kvadrátu vlnové funkce. Při přijatelném zanedbání můžeme předpokládat, že daný orbital bude mít tvar absolutní hodnoty kvadrátu sférické harmonické funkce, proto bylo k modelování jednotlivých orbitalů přistoupeno z matematického hlediska a jednotlivé modely byly vytvořeny prostřednictvím zobrazení příslušných matematických funkcí. Rovnice sférických harmonických funkcí byly převzaty z literatury[15]. Modely grafů funkcí byly vymodelovány pomocí softwaru Mathematica[116], kód pro vygenerování např. orbitalu p_x vypadá následovně:

```
px=Sqrt[3]/(2*Sqrt[π])*Sin[θ]*Sin[φ]
Export["px.stl",SphericalPlot3D[{Abs[px*px]},{θ,0,π},{φ,0,2π},
PlotRange→Full,PlotPoints→64]]
```

Vymodelované orbitály byly exportovány do *.stl souboru. Ten byl následně upraven v programu netFabb Private[106], kde byly orbitalům přidány osy souřadnic a stojánky. Modely byly následně rozříznuty na dvě části pro lepší tisk a exportovány do nového *.stl souboru. Ten byl následně připraven na tisk (slicován) pomocí programu Cura[118]. Vytisknuté části orbitalu byly následně slepeny a očištěny (Obrázek 48).

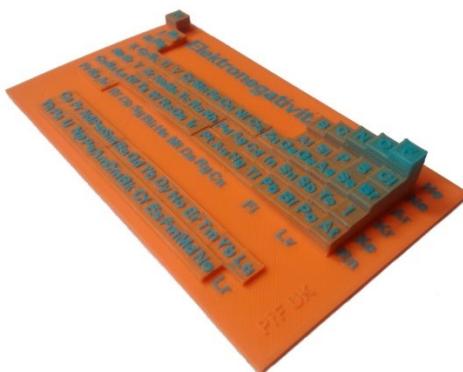


Obrázek 48: Výsledný vytisknutý model orbitalu.

Tímto způsobem byla vytvořena sada modelů atomových orbitalů obsahující orbitály s, p, d, f. Toto modely byly vytvořeny ve formě pro jednobarevný i dvoubarevný tisk. Na vytvořených dvoubarevných modelech je v kontrastních barvách vytvořen osní kříž a samotný orbital. Vytvořená sada modelů byla zveřejněna na serveru www.thingiverse.com, kde je volně dostupná. Modely si již stáhlo okolo 300 uživatelů. (údaj z června 2017).

12.6.7 3D periodické tabulky prvků

Periodická tabulka prvků je jedna ze základních učebních pomůcek pro výuku zákonitostí chování prvků. V běžné periodické tabulce je ukryto mnoho zákonitostí mezi postavením prvku v tabulce a jeho vlastnostmi. Tyto zákonitosti jsou na často dvoudimenzionálních tabulkách skryty nebo nejsou tak názorné. Pokud je ale například hustota prvku vynesena v periodické tabulce prvků do osy z, je výsledkem prostorová periodická tabulka prvků. Z výšky jednotlivých prvků se pak dají pěkně vyčíst různé trendy (Obrázek 49).



Obrázek 49: Výsledný vytisknutý model 3D periodické tabulky prvků.

Modely periodických tabulek byly vytvořeny v modelovacím programu OpenSCAD[109], [145], jednotlivé fyzikální vlastnosti prvků byly přebrány z literatury[15]. Zdrojový kód tabulky v programu OpenSCAD je v příloze. Výhodou použití programu OpenSCAD je, že v něm mohla být vytvořena základní struktura periodické tabulky, do které je možné jednoduše nahrát matice obsahující jakékoli veličiny vztahující se k prvkům a zobrazit je jako funkci protonového čísla v rámci jednotlivých period a skupin. Není tedy nutné pokaždé vytvářet (programovat) celou tabulku. Zdrojový kód je součástí práce jako Příloha 3.

Model byl upraven tak, aby s použitím dvoubarevného tisku byl na modelu vytvořen barevný gradient zvýrazňující velikost veličin. Výstupem programu je soubor ve formátu *.stl. Ten byl připraven pro tisk (slicing) na 3D tiskárně pomocí programu Cura[118].

Po vytisknutí byl model připraven k použití, žádné další úpravy nebyly potřeba.

Tyto modely byly vytvořeny ve formě pro jednobarevný i dvoubarevný tisk ve variantě s českými a anglickými popisky. Kontrastními barvami jsou pak vyznačeny značky jednotlivých prvků, což pomáhá k přehlednosti celé tabulky. Vytvořená sada modelů byla

zveřejněna na serveru www.thingiverse.com, kde je volně dostupná. Modely si již stáhlo okolo 1200 uživatelů. (údaj z června 2017).

12.6.8 Náhradní díly k molekulové stavebnici

Nejběžnější molekulovou stavebnicí na českých školách jsou Molekulové modely I. dodávaná firmou Comenium n. p. Její nevýhodou je, že jednotlivé atomy jsou vyrobeny z polystyrenu, který po dlouhých letech používání degradoval a je křehký, u řady atomů z těchto sad došlo k ulomení tyček, které tvoří jednotlivé vazby. Proto bývá hlavně v žákovských sadách nedostatek nejběžnějších atomů, jako jsou např. uhlíky s hybridizací sp^3 , sp^2 a sp . Tyto atomy jsou dneska běžnou cestou nenahraditelné, jedinou možností je nákup nových sad modelů, které jsou ale velmi drahé. Proto byla naprogramována sada modelů, kterými lze tyto chybějící díly v soupravách nahradit.

Modely byly vytvořeny v programu OpenSCAD, kde byla využita symetrie jednotlivých tvarů. Modely byly vytvořeny tak, aby jejich velikost a tvar maximálně odpovídaly originálním dílům. Všechny modely byly odzkoušeny a nalezeno optimální nastavení pro jejich tisk, tak aby byla co nejmenší práce s post-processingem a atomy měly takové velikosti, aby pasovaly do původních vazeb a byly kompatibilní s ostatními částmi stavebnice. Nalezené parametry jsou publikovány spolu s modely. Bylo zjištěno, že vytisknuté díly jsou pevnější než originální atomy.

Vytvořená sada modelů byla zveřejněna na serveru www.thingiverse.com, kde je volně dostupná. Modely si již stáhlo okolo 120 uživatelů. (údaj z června 2017).

13. VÝZKUMNÉ ŠETŘENÍ

Ověřování vlivu vytvořených videozáznamů chemických reakcí na motivaci studentů bylo prováděno pomocí dotazníkového šetření mezi žáky vybraných gymnázií na základě shlédnutí krátkého pásma videozáznamů chemických reakcí, doprovázeného komentářem vyučujícího.

Výzkumným záměrem bylo prozkoumat motivační orientaci žáků při výuce využívající videozáznamy chemických reakcí. Konkrétně šlo o následující:

1. zda mají vytvořené videozáznamy vliv na motivaci žáků;
2. zda jsou statisticky významné rozdíly v motivaci žáků v závislosti na navštěvované škole, pohlaví či věku žáků;
3. který typ videí nejvíce zvyšuje motivaci žáků;

13.1 Použitá metodika

Pro zjištění motivačních orientací žáků byly v rámci šetření žákům rozdány dva dotazníky založené na nástrojích vyvinutých pro tyto účely, jednalo se o nástroj Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ – Dotazník motivačních strategií pro učení se)[146] a nástroj Intrinsic Motivation Inventory (IMI – Dotazník vnitřní motivace)[147], [148].

Nástroj MSLQ byl vyvinut na přelomu 80. a 90. let 20. století kolektivem autorů ke zjišťování a hodnocení motivačních orientací žáků a jejich využívání různých strategií pro vlastní učení [149]. Z tohoto dotazníku bylo pro potřeby výzkumného šetření vybráno 16 položek (tvrzení), náležejících k jedné za 4 zvolených škál:

- vnitřní cílová orientace (položky Pre_1, Pre_6, Pre_9, Pre_14),
- vnější cílová orientace (položky Pre_3, Pre_5, Pre_10, Pre_16),
- sebeúčinnost v učení se (položky Pre_2, Pre_8, Pre_11, Pre_13),
- uvědomění vlastní zodpovědnosti při učení se (položky Pre_4, Pre_7, Pre_12, Pre_15).

Tento upravený dotazník byl používán jako vstupní dotazník – dále nazývaný zkáceně *pre-test*.

Nástroj IMI byl původně vyvinut pro hodnocení subjektivní zkušenosti vztážené k vnitřní motivaci žáka a vlastní sebe-reflexe [149]. Z tohoto dotazníku bylo pro potřeby výzkumného šetření vybráno 16 položek (tvrzení), náležejících k jedné za 4 zvolených škál:

- zájem/potěšení (položky Post_1, Post_7, Post_10, Post_14),

- uvědomění si svých schopností (Post_3, Post_5, Post_11, Post_16),
- vynaložené úsilí/důležitost (Post_2, Post_8, Post_12, Post_15),
- význam/užitečnost (Post_4, Post_6, Post_9, Post_13).

Tento upravený dotazník byl používán jako výstupní dotazník – dále nazývaný zkráceně *post-test*.

Svůj postoj k jednotlivým tvrzením vyjadřovali žáci na sedmibodové Lickertově škále, kdy hodnota 1 znamenala „naprostý nesouhlas“ a hodnota 7 „naprostý souhlas“. Použití tohoto způsobu skórování odpovědí doporučují sami autoři nástrojů.

Oba tyto dotazníky byly již využity v desítkách studií, jež potvrzují jejich spolehlivost a validitu nástrojů při zkoumání motivačních orientací během různých aktivit [149], [150].

Kromě již zmíněných tvrzení, byl *post-test* doplněn dalším dotazníkem obsahujícím 9 tvrzení, které měly za cíl získat informace o postojích studentů k používaným videozáznamům a jejich využití. Do *Post-testu* bylo také zařazeno 6 otázek s otevřenými odpověďmi, ve kterých se žáci mohli vyjádřit k samotnému průběhu aktivity. Dotazníky samotné jsou přiloženy jako Příloha 5 a Příloha 6 této práce.

13.1.1 Struktura hodiny „Hoření pohledem objektivu kamery“

Pro ověřování vlivu vytvořených videozáznamů chemických reakcí bylo vytvořeno pásmo 20 videí, pojmenované "Hoření objektivem kamery". V tomto pásmu byly videozáznamy vytvořené různými filmařskými technikami (viz kapitolu 11) a spojuje je myšlenka ukázat tak jednoduchý proces jako je hoření látek z různých netradičních úhlů pohledu. Pásmo kromě komentovaných videozáznamů obsahovalo i videozáznamy samotných reakcí bez zvuku, tato videa byla doprovázena komentářem vyučujícího. Kompletní struktura hodiny včetně přepisu komentářů vyučujícího je přiložena jako příloha této práce Příloha 4.

Na začátku hodiny byli vždy studenti informováni o průběhu hodiny a způsobu vyplňování dotazníků, následně byl zadán vstupní dotazník – *pre-test*. Po vyplnění dotazníků dostali studenti pracovní list s otázkami, ty byly po absolvování promítání videozáznamů sebrány. Na konci hodiny byl zadán výstupní dotazník – *post-test*.

Celé pásmo je koncipováno tak, aby se během jedné vyučovací hodiny stihly zadat, vyplnit a vybrat všechny dotazníky. Délka vlastních videí a odborného komentáře povídá cca 25-30 minutám, zbylých 15-20 minut zbývá na vyplňování dotazníků.

Celkem se dotazníkové šetření zúčastnilo 363 žáků (156 chlapců a 207 dívek) ve věku od 14 do 18 let (odpovídá 9. ročníku ZŠ až 3. ročníku SŠ) – 14 let 23 žáků, 15 let 107 žáků, 16 let 112 žáků, 17 let 78 žáků, 18 let 41 žáků. Dohromady se jednalo o 13 různých tříd ze 4 škol.

Dotazníková šetření byla prováděna v prostorách jednotlivých škol za využití místní techniky. Všechny prezentace videozáznamů a dotazníková šetření byla prováděna autorem práce osobně.

Celkem bylo získáno 363 použitelných setů dotazníků (v několika případech nedošlo k vyplnění některého z dotazníků z důvodu částečné absence žáka na hodině, tyto neúplné sety byly z šetření vyřazeny).

13.1.2 Zpracování dat

Dotazníkové šetření bylo realizováno během května a června 2017 na 4 státních gymnáziích v České republice (šk1, šk2, šk3, šk4). Tyto studenty učilo celkem 7 učitelů (uč1 až uč7), přičemž na škole šk1 působí učitelé uč1 a uč2, na škole šk2 působí učitelé uč3 a uč4, na škole šk3 působí učitel uč5 a na škole šk4 působí učitelé uč6, uč7.

Sebrané dotazníky byly digitalizovány a sebraná data byla vyhodnocena pomocí různých statistických metod. Digitalizovaná data jsou uložena na datovém DVD, které je součástí této práce (Příloha 8).

Reliabilita výsledků motivačních testů byla zhodnocena prostřednictvím Cronbachova koeficientu alfa[151] pro všechny subškály motivačních orientací. Dále byla provedena korelační analýza, pro jednotlivé škály motivačních dotazníků a dalšími daty získaných ze třetí části dotazníku (položky věk, Q_1 až Q_24, Q_32, PL). Dále byl sledován vliv vybraných faktorů (pohlaví, věk, navštěvovaná škola, osoba vyučujícího) na motivační orientace žáků, konkrétně metodou analýzy rozptylu (ANOVA – jednopřechodová). Odpovědi získané z otázek s otevřenou odpovědí byly analyzovány pomocí frekvenční analýzy.

Data byla zpracována pomocí statistického programového balíku GNU PSPP[105].

13.1.3 Výsledky

13.1.3.1 Vnitřní konzistence dat

zobrazuje hodnoty Cronbachova alfa pro všechny studované subškály motivačních orientací. Výsledné hodnoty ukazují, že vnitřní konzistence výsledků je na poměrně dobré úrovni, neboť se ve většině případů blíží hodnotě 0,7, která je obecně přijímaným minimem. Výjimkou jsou subškály „Vnější cílová orientace“, „Vědomí vlastní zodpovědnosti při učení se“ v případě *pre-testu* a „Vynaložené úsilí/důležitost v případě *Post-testu*, kde se je hodnota Cronbachova alfa menší než 0,7, ale není daleká požadované hodnotě. Získané výsledky v těchto škálách je tedy potřeba považovat za méně věrohodné.

Tabulka 1: Pozorované subškály a koeficienty reliability (Cronbachova alfa) pro motivační orientace žáků

Subškála – vstupní dotazník (<i>Pre-test</i>)	α	Subškála – výstupní dotazník (<i>Post-test</i>)	α
1 Vnitřní cílová orientace	0,698	1 Zájem/potěšení	0,894
2 Vnější cílová orientace	0,611	2 Uvědomění si svých schopností	0,807
3 Sebeúčinnost v učení se	0,677	3 Vynaložení úsilí/důležitost	0,631
4 Vědomí vlastní zodpovědnosti při učení se	0,586	4 Význam/užitečnost	0,773

13.1.3.2 Korelační analýza a postoju žáků k videoexperimentům a škál motivačních orientací

Korelační analýzu mezi jednotlivými položkami ukazuje Tabulka 2. Výsledky se dají rozdělit na dvě skupiny, pravá část tabulky ukazuje míry korelace mezi škálami motivačních orientací, levá část tabulky pak korelace postojů žáků k videoexperimentům mezi sebou a korelace se škálami motivačních orientací. Jako minimální hodnota pro posouzení kladné korelace byla obecně používaná hodnota 0,5[150].

V případě pravé strany tabulky ukazují vypočtené hodnoty na silnou korelaci mezi škálami

- „Sebeúčinnost v učení se“ a „Vnitřní cílovou orientací“ – oba *pre-test*;
- „Vnější cílová orientace“ a „Vynaložené úsilí/důležitost“ – první z *pre-testu*, druhý z *post-testu*;
- „Uvědomění si svých schopností“ a „Zájem/potěšení“ oba *post-test*,
- „Význam/užitečnost“ a „Zájem/potěšení“ oba *post-test*,
- „Význam/užitečnost“ a „Uvědomění si vlastních schopností“ oba *post-test*.

Tyto výsledky lze interpretovat následovně:

- vysocevnitřně motivovaní jedinci mají vysokou sebeúčinnost v učení se (a nebo naopak), tzn. hodlají si z hodiny odnést co nejvíce, což podporuje jejich pozornost,
- jedinci s vysokou vnější motivační orientací jsou ochotni vynaložit větší úsilí (a nebo naopak); tito jedinci jsou silně motivováni učitelem k vynakládání většího úsilí,
- jedinci, kteří si myslí, že tématu rozumí, mají o téma větší zájem a naopak, jedinci, které téma baví, mají větší sebedůvěru, že téma zvládnou,
- jedinci, kteří chápou význam tématu, jej sledují se zájmem (a nebo naopak),
- jedinci, kteří si uvědomují užitečnost daného tématu, chápou vlastní schopnosti.

Druhá (levá) část tabulky ukazuje silné korelace mezi položkami Q_18 a Q_19 tedy tvrzeními, že zrychlená (time-lapse) a zpomalená (slow-motion) videozáznamy pomáhají k lepšímu pochopení a názornosti. Obdobná korelace je mezi položkami Q_19 a Q_20, tedy tvrzeními, že komentovaná videa a zpomalená (slow-motion) videa pomáhají lepšímu pochopení a názornosti. Dalo by se očekávat, že bude korelovat i položka Q_18 a Q_20, tedy že by komentovaná a zrychlená (time-lapse) videa měla shodně napomáhat názornosti a pochopení, tato korelace se ale ukazuje jen jako slabá.

Dalšími položkami, které silně korelují, jsou položky „Zájem/potěšení“ s tvrzením, že komentovaná videa pomáhají lepší názornosti a pochopitelnosti a dvojice „Význam/užitečnost“ s tvrzením, že komentovaná videa pomáhají lepší názornosti. Z tohoto vyplývá, že komentovaná videa považují za užitečná takoví jedinci, které to bavilo, případně vidí jeho význam a užitečnost. Dala by se očekávat podobná korelace mezi tvrzením, že zpomalené (slow-motion) videozáznamy (případně zrychlené – time-lapse videozáznamy) pomáhají k lepšímu pochopení a položkami „Zájem/potěšení“ a „Význam/užitečnost“. Tato korelace je jen slabá (v případě zrychlených videozáznamů se ani nedá označit za korelaci). Toto by mohlo být vysvětleno tím, že komentovaná videa jsou u žáků populárnější, zábavnější a vidí v nich větší užitečnost. Zrychlené záběry (time-lapse) žáky pak příliš neoslovily.

Silná korelace je patrná také mezi položkami Q_23 a Q_24, tedy tvrzením, že získané vědomosti žáci využijí i v jiných hodinách a tvrzením, že by žáci tyto videozáznamy využili pro získání vědomostí i doma. Zde je opět vidět jistá vnitřní motivace žáků, kteří ve videích vidí zdroj informací.

Z Tabulka 2 je také patrná silná korelace mezi položkou Q_17, tedy tvrzením že využívání videí ve výuce je zbytečné a položkou Q_21 – tvrzením, že videa nevedou k lepšímu pochopení skutečnosti. Těsně pod hodnotou 0,5 je pak i korelace mezi položkami Q_17 a Q_22, tedy tvrzením, že videa jsou móda, která rychle zastará. A naopak je zde slabá negativní

korelace mezi položkami Q_17 a Q_20, tedy tvrzením, že komentované videozáznamy pomáhají názornosti, obdobně slabě negativně koreluje s položkami „Zájem/potěšení“ a „Význam/užitečnost“. Z tohoto se dá vyvodit, že pokud žák nechápe obsah videozáznamu, nevidí ve videozáznamech význam, nemá potěšení z jejich sledování a označuje je jako zbytečná a módní.

Tabulka 2: Spearmanova korelační matice pro jednotlivé odpovědi v testech. Všechny vyznačené hodnoty korelace jsou významné na hladině 0,01. Modrou barvou jsou vyznačeny silné korelace (> 0,5), odstín zelené barvy znázorňuje míru kladné korelace, odstín oranžové barvy znázorňuje míru negativní korelace.

	Věk	Q_17	Q_18	Q_19	Q_20	Q_21	Q_22	Q_23	Q_24	Q_32	PL	Pre 1	Pre 2	Pre 3	Pre 4	Post 1	Post 2	Post 3	
Myslím si, že využívání videí ve výuce je zbytečné	Q_17	-0,013																	
Time-lapse pomáhají názornosti a pochopitelnosti	Q_18	-0,039	-0,221																
Slow-mo pomáhají názornosti a pochopitelnosti	Q_19	-0,017	-0,332	0,596															
Komentovaná videa pomáhají názornosti	Q_20	-0,008	-0,419	0,365	0,52														
Videa nevědou k lepšímu pochopení skutečnosti	Q_21	-0,012	0,531	-0,244	-0,316	-0,437													
Videa jsou móda, která rychle zastará	Q_22	0,059	0,487	-0,225	-0,321	-0,385	0,426												
Získané vědomosti využiji v jiných hodinách	Q_23	-0,007	-0,058	0,204	0,256	0,243	-0,108	-0,111											
Videa bych využil pro získání vědomostí i doma	Q_24	-0,024	-0,250	0,279	0,314	0,377	-0,238	-0,212	0,593										
Celkově jsem byl spokojen	Q_32	-0,039	-0,310	0,202	0,340	0,491	-0,322	-0,372	0,335	0,446									
Součet bodů v pracovním listu	PL	0,094	0,026	0,107	0,027	0,096	-0,070	-0,026	0,132	0,069	0,065								
Vnitřní cílová orientace	Pre 1	-0,091	-0,110	0,233	0,289	0,334	-0,233	-0,182	0,430	0,390	0,322	0,144							
Vnější cílová orientace	Pre 2	0,017	-0,175	0,162	0,254	0,354	-0,138	-0,241	0,312	0,299	0,316	0,054	0,389						
Sebeúčinnost v učení se	Pre 3	-0,188	0,028	0,161	0,186	0,160	-0,041	-0,067	0,405	0,322	0,238	0,079	0,590	0,361					
Vědomí vlastní zodpovědnosti	Pre 4	0,075	-0,005	0,123	0,187	0,193	-0,132	-0,075	0,238	0,299	0,214	-0,001	0,341	0,266	0,334				
Zájem/potěšení	Post 1	0,042	-0,399	0,220	0,401	0,531	-0,386	-0,314	0,320	0,457	0,642	0,059	0,370	0,376	0,257	0,197			
Uvědomění si vlastních schopností	Post 2	-0,007	-0,181	0,242	0,388	0,344	-0,221	-0,183	0,407	0,347	0,484	0,172	0,366	0,351	0,402	0,268	0,533		
Vynaložené úsilí/důležitost	Post 3	0,184	-0,170	0,077	0,227	0,296	-0,085	-0,135	0,360	0,360	0,297	0,070	0,322	0,501	0,248	0,253	0,382	0,261	
Význam/užitečnost	Post 4	0,038	-0,384	0,240	0,425	0,550	-0,382	-0,323	0,403	0,443	0,596	-0,019	0,397	0,397	0,262	0,258	0,718	0,553	0,434

Zajímavá je silná korelace mezi položkou Q_32, tedy tvrzením, že žák byl celkově spokojen s prováděnou aktivitou a položkami „Zájem/potěšení“ a „Význam/užitečnost“. Zde je opět vidět, že pokud žáky sledování videozáznamů baví a vidí v něm užitečnost, tak se mu celkově líbí sledování videozáznamů a je spokojen s hodinou, kde se videozáznamy využívají. Korelace těsně pod hodnotou 0,5 je pak také mezi položkami Q_32 a Q_20, tvrzením, že komentovaná videa napomáhají názornosti. Slabá korelace je i s položkou Q_19, stejným tvrzením ale o zpomalených videích. Z tohoto (a dalších výsledků) je vidět, že komentované videozáznamy se nejvíce setkaly s úspěchem u žáků, s menším úspěchem se setkaly zpomalené (slow-motion) videozáznamy a s nejmenším úspěchem se pak setkaly záznamy zrychlené (time-lapse) toto ale může být způsobeno nevhodným výběrem prezentovaného zrychleného videozáznamu.

A naopak je zřetelná slabá negativní korelace mezi celkovou spokojeností s provozovanou aktivitou a tvrzeními, že videozáznamy nevedou k lepšímu pochopení (Q_21). A dále korelují tvrzení, že videozáznamy jsou jen móda, která rychle zastará (Q_22) a tvrzení, že využívání videozáznamů ve výuce chemie je zbytečné. Z tohoto lze usuzovat, že pokud žák nevidí ve sledování videozáznamů jednodušší pochopení, jejich využívání odsuzuje. Z toho vyplývá, že je velmi žádoucí videa vytvářet tak, aby byla maximálně srozumitelná a názorná, jinak žáci ztrácí zájem a nevěnují jim pozornost.

Z hodnot korelací položky věk s ostatními položkami se ukazuje, že jednotlivá tvrzení a motivační orientace nekorelují s věkem. Z tohoto by se dalo usuzovat, že videozáznamy jsou obecně přijímány nezávisle na věku žáků, nicméně věkové rozmezí zkoumané skupiny žáků není nijak velké.

13.1.3.3 Vliv vybraných faktorů na motivační orientace žáků a na postoj k videoexperimentům

Pomocí analýzy rozptylu (ANOVA – Analysis of Variance, jednopřechodová) získaných dat (položky Q_18 až Q_24, Q_32 a škály motivační orientace – *Pre-test* i *Post-test*) byl sledován vliv vybraných faktorů (pohlaví, věk, navštěvovaná škola, osoba učitele). Výsledky jsou uvedeny v Tabulka 3. Rozdíly jsou považovány za statisticky signifikantní (významné) na hladině významnosti 0,05. Jednotlivé rozdíly jsou rozebírány v následujícím textu.

Tabulka 3: Statistická významnost čtyř sledovaných faktorů prostřednictvím analýzy rozptylu, statisticky významné rozdíly jsou žlutě zvýrazněny.

		Pohlaví		Věk		Škola		Učitel	
		F	p	F	p	F	p	F	p
Myslím si, že využívání videí ve výuce je zbytečné	Q_17	0,446	0,505	1,149	0,333	1,439	0,231	1,047	0,394
Time-lapse pomáhají názornosti a pochopitelnosti	Q_18	4,301	0,039	1,148	0,334	0,417	0,741	0,823	0,553
Slow-mo pomáhají názornosti a pochopitelnosti	Q_19	0,044	0,834	0,718	0,580	0,643	0,588	0,862	0,523
Komentovaná videa pomáhají názornosti	Q_20	0,374	0,541	0,834	0,504	1,450	0,228	1,075	0,377
Videa nevedou k lepšímu pochopení skutečnosti	Q_21	10,497	0,001	0,135	0,969	0,304	0,822	0,817	0,558
Videa jsou móda, která rychle zastará	Q_22	0,046	0,831	0,880	0,476	0,560	0,642	0,706	0,645
Získané vědomosti využiji v jiných hodinách	Q_23	0,001	0,978	1,296	0,271	2,619	0,051	1,381	0,221
Videa bych využil pro získání vědomostí i doma	Q_24	0,144	0,704	0,386	0,819	0,769	0,512	1,572	0,154
Celkově jsem byl spokojen	Q_32	0,073	0,788	0,139	0,968	1,345	0,259	1,403	0,213
Součet bodů v pracovním listu	PL	5,756	0,017	1,583	0,178	1,997	0,114	3,038	0,007
Vnitřní cílová orientace	Pre 1	0,241	0,624	1,802	0,128	0,580	0,628	2,380	0,029
Vnější cílová orientace	Pre 2	3,686	0,056	0,605	0,660	4,863	0,003	4,066	0,001
Sebeúčinnost v učení se	Pre 3	3,867	0,050	3,542	0,008	4,885	0,002	3,882	0,001
Vědomí vlastní zodpovědnosti	Pre 4	0,807	0,370	0,850	0,494	2,932	0,034	2,617	0,017
Zájem/potěšení	Post 1	2,137	0,145	1,584	0,178	1,902	0,129	1,949	0,072
Uvědomění si vlastních schopností	Post 2	11,349	0,001	1,053	0,380	1,341	0,261	0,846	0,535
Vynaložené úsilí/důležitost	Post 3	3,994	0,046	3,369	0,010	9,244	0,000	7,035	0,000
Význam/užitečnost	Post 4	0,601	0,439	1,681	0,154	2,070	0,104	2,375	0,029

Pohlaví

Statisticky významných rozdílů mezi chlapci a dívkami bylo objeveno několik v následujících položkách:

- Q_18 Názor na pochopitelnost zrychlených (time-lapse videí), kde chlapci považují tato videa za názornější než dívky ($M_{CH} = 5,80$, $SD = 1,39$; $M_D = 5,47$, $SD = 1,60$),
- Q_21 Názor na to, jestli videa vedou k lepší pochopitelnosti zobrazované skutečnosti, kde chlapci s tímto tvrzením více souhlasí ($M_{CH} = 2,20$, $SD = 1,39$; $M_D = 1,79$, $SD = 0,97$),
- PL Součet bodů v pracovním listu, kde chlapci dosahovali průměrně vyššího skóre ($M_{CH} = 6,91$, $SD = 1,32$; $M_D = 6,58$, $SD = 1,23$),
- Pre 3 Sebeúčinnost v učení se, kdy chlapci jsou přesvědčeni, že mají větší schopnost se něco naučit ($M_{CH} = 4,35$, $SD = 1,61$; $M_D = 4,13$, $SD = 0,98$),
- Post 2 Uvědomění si vlastních schopností, kde chlapci jsou více přesvědčeni o svých schopnostech ($M_{CH} = 4,80$, $SD = 1,08$; $M_D = 4,43$, $SD = 1,01$),
- Post 3 Vynaložené úsilí/důležitost, kde si dívky myslí, že jsou ochotny vynaložit větší úsilí proto, aby něčeho dosály ($M_{CH} = 3,95$, $SD = 1,05$; $M_D = 4,16$, $SD = 0,97$).

Věk

Vypočtená data ukázala, že statisticky významný rozdíl mezi různě starými žáky můžeme najít pouze u těchto položek:

- Pre 3 Sebeúčinnost v učení se, kdy s věkem klesá přesvědčení, že jsou žáci schopni se něco naučit ($M_{14} = 4,62$, $SD = 1,02$; $M_{15} = 4,43$, $SD = 0,95$; $M_{16} = 4,19$, $SD = 1,01$, $M_{17} = 4,05$, $SD = 1,22$; $M_{18} = 3,87$, $SD = 1,08$),
- Post 3 Vynaložené úsilí/důležitost, kdy se stoupajícím věkem roste přesvědčení, že žáci jsou ochotni vynaložit větší úsilí se něco naučit ($M_{14} = 3,80$, $SD = 0,85$; $M_{15} = 3,84$, $SD = 1,04$; $M_{16} = 4,13$, $SD = 0,97$, $M_{17} = 4,19$, $SD = 1,08$; $M_{18} = 4,41$, $SD = 0,86$).

Škola

Statisticky významný rozdíl mezi studenty z různých škol je pak v položkách:

- Q_23 Získané vědomosti využiji i v jiných hodinách, kde se míra souhlasu měnila v závislosti na navštěvované škole ($M_{šk1} = 4,32$, $SD = 1,36$; $M_{šk2} = 4,23$, $SD = 1,26$; $M_{šk3} = 4,15$, $SD = 1,23$; $M_{šk4} = 3,77$, $SD = 1,55$),
- Pre 2 Vnější cílová orientace, která se měnila u žáků v závislosti na navštěvované škole ($M_{šk1} = 4,62$, $SD = 1,10$; $M_{šk2} = 4,72$, $SD = 1,05$; $M_{šk3} = 4,30$, $SD = 1,13$; $M_{šk4} = 4,16$, $SD = 1,05$),
- Pre 3 Sebeúčinnost v učení se ($M_{šk1} = 4,32$, $SD = 1,08$; $M_{šk2} = 3,98$, $SD = 0,99$; $M_{šk3} = 4,61$, $SD = 0,98$; $M_{šk4} = 4,12$, $SD = 1,12$),
- Pre 4 Vědomí vlastní zodpovědnosti ($M_{šk1} = 4,51$, $SD = 0,96$; $M_{šk2} = 4,32$, $SD = 0,85$; $M_{šk3} = 4,48$, $SD = 1,04$; $M_{šk4} = 4,12$, $SD = 0,97$),
- Post 3 Vynaložené úsilí/důležitost ($M_{šk1} = 4,26$, $SD = 0,87$; $M_{šk2} = 4,22$, $SD = 1,01$; $M_{šk3} = 3,94$, $SD = 1,13$; $M_{šk4} = 3,55$, $SD = 0,98$).

Z předchozího je vidět, že studenti na různých školách jsou motivováni různými způsoby, i když principy motivace budou kromě školy spojeny i s osobou vyučujícího.

Učitel

Z dat je také patrné, že na výsledky má vliv osoba učitele. Rozdíly jsou následující:

- PL součet bodů získaných vyplněním pracovního listu ($M_{uč1} = 7,20$, $SD = 1,14$; $M_{uč2} = 6,63$, $SD = 1,09$; $M_{uč3} = 6,52$, $SD = 1,26$; $M_{uč4} = 7,15$, $SD = 1,20$; $M_{uč5} = 6,40$, $SD = 1,46$; $M_{uč6} = 6,78$, $SD = 1,17$; $M_{uč7} = 6,61$, $SD = 1,50$),
- Pre 1 Vnitřní cílová orientace ($M_{uč1} = 4,37$, $SD = 1,11$; $M_{uč2} = 4,82$, $SD = 1,00$; $M_{uč3} = 4,70$, $SD = 0,97$; $M_{uč4} = 4,39$, $SD = 0,77$; $M_{uč5} = 4,76$, $SD = 0,92$; $M_{uč6} = 4,81$, $SD = 0,94$; $M_{uč7} = 4,31$, $SD = 1,30$),

- Pre 2 Vnější cílová orientace ($M_{U\check{C}1} = 4,33$, $SD = 1,12$; $M_{U\check{C}2} = 4,89$, $SD = 1,01$; $M_{U\check{C}3} = 4,70$, $SD = 1,06$; $M_{U\check{C}4} = 4,78$, $SD = 1,06$; $M_{U\check{C}5} = 4,30$, $SD = 1,13$; $M_{U\check{C}6} = 4,15$, $SD = 0,90$; $M_{U\check{C}7} = 4,17$, $SD = 1,15$),
- Pre 3 Sebeúčinnost v učení se ($M_{U\check{C}1} = 4,07$, $SD = 0,97$; $M_{U\check{C}2} = 4,55$, $SD = 1,13$; $M_{U\check{C}3} = 3,96$, $SD = 1,05$; $M_{U\check{C}4} = 4,01$, $SD = 0,82$; $M_{U\check{C}5} = 4,61$, $SD = 0,98$; $M_{U\check{C}6} = 4,29$, $SD = 0,78$; $M_{U\check{C}7} = 4,00$, $SD = 1,30$),
- Pre 4 Vědomí vlastní zodpovědnosti ($M_{U\check{C}1} = 4,39$, $SD = 0,93$; $M_{U\check{C}2} = 4,61$, $SD = 0,98$; $M_{U\check{C}3} = 4,41$, $SD = 0,87$; $M_{U\check{C}4} = 4,07$, $SD = 0,74$; $M_{U\check{C}5} = 4,48$, $SD = 1,04$; $M_{U\check{C}6} = 3,91$, $SD = 1,04$; $M_{U\check{C}7} = 4,26$, $SD = 0,91$),
- Post 3 Vynaložené úsilí/důležitost ($M_{U\check{C}1} = 3,97$, $SD = 0,84$; $M_{U\check{C}2} = 4,51$, $SD = 0,83$; $M_{U\check{C}3} = 4,32$, $SD = 1,04$; $M_{U\check{C}4} = 3,95$, $SD = 0,89$; $M_{U\check{C}5} = 3,94$, $SD = 1,13$; $M_{U\check{C}6} = 3,59$, $SD = 1,08$; $M_{U\check{C}7} = 3,53$, $SD = 0,93$).

Z těchto výsledků a z výsledků v části 0 (statisticky významné rozdíly mezi žáky z různých škol) je vidět, že na motivační orientaci má vliv nejen učitel, ale i prostředí školy, třídy, vliv samotného učitele je pak částečně skryt i ve faktoru školy.

13.1.3.4 Hodnocení aktivity žáky

Součástí *post-testu*, který žáci vyplňovali po aktivitě, byly kromě otázek testu IMI zařazen i dotazník, který měl zkoumat návaznost na využití videozáznamů ve vyučování a otázky zabývající se průběhem aktivity a jejího pochopení. Na část otázek (položky Q_17-Q_24 a Q_32) bylo odpovídáno pomocí sedmibodové Lickertovy škály. Vyhodnocení těchto otázek bylo provedeno spolu s vyhodnocením odpovědí na otázky IMI testu.

Druhou část tvořily otázky s otevřenými odpověďmi a tyto otázky měly za úkol zjistit, zda žáci pochopili význam používaných metod při výuce a měli možnost se vyjádřit k průběhu hodiny. Konkrétně se jedná o následující položky:

- Q_26 Která témata byla obsahem této hodiny?
- Q_27 Které poznatky (konkrétně) jste si odnesli z této hodiny?
- Q_28 Které části hodiny se vám líbily nejvíce?
- Q_29 Které části hodiny se vám zdály nejtěžší?
- Q_30 Znáte (konkrétně) nějaké autory videí zabývajících se chemickými tématy?
- Q_31 Napište prosím vaše návrhy, které by mohly vylepšit realizovanou aktivitu.

Jednotlivé odpovědi byly kvantifikovány pomocí čísel, podle následujícího klíče. Vzhledem k tomu, že některé z odpovědí byly podmnožinou většího celku, tak byly konkrétní informace

označeny dvoučíselným kódem, kdy první číslo značí, do kterého celku daná odpověď spadá, druhé číslo je pak identifikátorem konkrétní odpovědi (u otázky Q_27 kód 11 znamená, že odpověď spadá do kategorie 1 tedy informace o hoření a konkrétně jde o barvu plamenů). Jednotlivé konkrétní odpovědi se vztahují k demonstrováním jevům.

Tabulka 4: Frekvenční analýza položek souvisejících s realizací aktivity. F je početnost odpovědí, V% jsou platná procenta, C% jsou kumulativní procenta, T je celkový počet. Vzhledem k tomu, že žádný z testů nebyl vyřazen, tak jsou procentuální četnosti totožné s platnými procenty. V pravé části tabulky jsou hodnoty po sečtení subpoložek dohromady (označení 1x znamená všechny položky se skóre začínajícím na 1 atd.).

S		F	V%	C%	S	F	V%	C%
Q_26 Která témata byla obsahem této hodiny?								
0	nevyplněno	3	0,8	0,8				
1	hoření	222	61,2	62,0				
2	hoření + další relevantní údaje	125	34,4	96,4				
3	chemie, pokusy	8	2,2	98,6				
4	irelevantní, nesmyslná odpověď	5	1,4	100,0				
T		363	100,0					
Q_27 Které poznatky (konkrétně) jste si odnesli z této hodiny?								
0	nevyplněno	39	10,7	10,7	0	39	10,7	10,7
1	zmíněno více z následujících možností	119	32,8	43,5	1x	308	84,8	95,6
10	hoření a jeho průběh	30	8,3	51,8				
11	barvy plamenů	56	15,4	67,2				
12	iniciace hoření, hoření bez kyslíku	52	14,3	81,5				
14	střelný prach	16	4,4	86,0				
15	kyselina peroxosírová	6	1,7	87,6				
16	vodík a vzducholodě	17	4,7	92,3				
17	korozí hliníku	12	3,3	95,6				
8	nesmyslná odpověď	6	1,7	97,2	8	6	1,7	97,2
9	jiné	10	2,8	100,0	9	10	2,8	100,0
T		363	100,0		T	363	100,0	
Q_28 Které části hodiny se vám líbily nejvíce?								
0	nevyplněno	32	8,8	8,8	0	32	8,8	8,8
1	pokusy, hoření obecně	32	8,8	17,6	1x	126	34,7	43,5
11	barvy plamenů	58	16,0	33,6				
12	střelný prach	9	2,5	36,1				
13	vodík a vzducholodě	3	0,8	36,9				
14	hoření bez přístupu kyslíku	1	0,3	37,2				
15	kyselina peroxosírová	22	6,1	43,3				
16	korozí hliníku	1	0,3	43,5				
2	videa (obecně)	96	26,4	70,0	2x	153	42,1	85,7
22	zpomalená videa	42	11,6	81,5				
23	komentovaná videa	15	4,1	85,7				
8	všechno	35	9,6	95,3	8	35	9,6	95,3
9	jiná (i nesmyslná) odpověď	17	4,7	100,0	9	17	4,7	100,0
T		363	100,0		T	363	100,0	

S		F	V%	C%	S	F	V%	C%
Q_29 Které části hodiny se vám zdály nejtěžší?								
0	nevyplněno	120	33,1	33,1				
1	žádné, nebylo to těžké, dobře pochopitelné	100	27,5	60,6				
2	vyplňování dotazníků	57	15,7	76,3				
3	konkrétní probírané téma	40	11,0	87,3				
4	udržení pozornosti, soustředění	21	5,8	93,1				
5	pochopení principů obecně	19	5,2	98,3				
9	jiná odpověď	6	1,7	100,0				
T		363	100,0					
Q_30 Znáte (konkrétně) nějaké autory videí zabývajících se chemickými tématy?								
0	nezná / nevyplněno	297	81,8	81,8				
1	zná, ale ne konkrétní jména	17	4,7	86,5				
2	zná i konkrétní jména	49	13,5	100,0				
T		363	100,0					
Q_31 Napište prosím vaše návrhy, které by mohly vylepšit realizovanou aktivitu.								
0	nevyplněno	183	50,4	50,4				
1	nic neměnit, líbilo se, bylo to dokonalé	36	9,9	60,3				
2	lepší kvalita obrazu, zvuku	20	5,5	65,8				
3	názorné demonstrační pokusy, nejen videa; praktické ukázky	27	7,4	73,3				
4	zlepšení komentáře vyučujícího, více komentářů	15	4,1	77,4				
5	více videí, více hodin s videi	25	6,9	84,3				
6	aktivizace žáků	10	2,8	87,1				
7	pomalejší prezentování, lepší prezentování	17	4,7	91,7				
8	méně psaní dotazníků	10	2,8	94,5				
9	jiné	20	5,5	100,0				
T		363	100,0					

S výsledným, překódovaným souborem byla provedena frekvenční analýza. Jejíž výsledky jsou v Tabulka 4, zde jsou také jednotlivé kategorie odpovědí.

Analýza odpovědí na otázku Q_26, tedy: „Která témata byla obsahem této hodiny?“ absolutní většina žáků (95,6 %) odpověděla, že se jednalo o hoření, případně k tématu hoření přidali ještě některé z témat, které byly předmětem výuky (např. barvy plamenů, střelný prach, ...).

Odpovědi na otázku Q_27, tedy: „Které poznatky jste si odnesli z této hodiny?“ ukazují, že většina žáků (84,8 %) za nové poznatky označila některé z témat, které byly předmětem výuky a videozáznamů. Z toho největší množství (15,4 %) žáků konkrétně uvedlo, že si z hodiny odnesli poznatky o barevnosti plamenů (toto ukazuje na vizuálně zajímavý videozáznam). Odpověď s druhou největší frekvencí bylo téma zapalování ohně a hoření bez přístupu kyslíku. Toto téma označilo 14,3 % žáků. Absolutní většina žáků ale neoznačila pouze jedno téma (videoexperiment), ale označila jich více (32,8 %).

U odpovědí na otázku Q_28 („Které části hodiny se vám líbily nejvíce?“) převažuje u žáků možnost videa, kterou označilo 42,1 % jedinců. Někteří z nich pak konkrétně mluví o videích

zpomalených (slow-motion) – 11,6 %. 34,7 % respondentů pak tvrdí, že se jim nejvíce líbily pokusy (v obecné rovině), konkrétně byly opět nejoblíbenější barvy plamenů (11,6 %).

Mezi odpověďmi na otázku Q_29 („Které části hodiny se vám zdály nejtěžší?“) se nejčastěji (27,5 %) objevuje tvrzení, že žádná hodina nebyla nejtěžší, že všechno bylo dobře pochopitelné. Velká část (15,7 %) žáků si pak stěžuje na vyplňování dotazníků. Kromě toho se objevují odpovědi, že studenti mají problémy konkrétně s tématem hoření (11,0 %), případně že mají problémy udržet pozornost, většinou kvůli vyplňování pracovního listu (5,8 %).

Na otázku Q_30 („Znáte nějaké konkrétní autory videí zabývající se chemickými tématy?“) většina (81,8 %) respondentů buď odpověděla, že nezná, nebo neodpověděla vůbec. 4,7 % žáků tvrdí, že nějaké autory znají, ale že si nevzpomenou na jejich jména, 13,5 % žáků pak dokázala napsat nějaké konkrétní jméno autora videí s chemickou tematikou. Často se zde objevovala jména jako SlowMoGuys, VědeckéKladivo či (Nez)kreslená věda. Z tohoto je vidět, že alespoň část žáků se setkala s videozáznamy s různými chemickými tématy.

Na otázku Q_31 („Napište prosím vaše návrhy, které by mohly vylepšit realizovanou aktivitu.“) většina (50,4 %) z respondentů neodpověděla, mezi odpověďmi má pak největší zastoupení (9,9 %) odpověď, že by na realizované aktivitě nic neměnili, že se jim líbila. Celkem 7,4 % žáků by pak hodinu obohatilo o praktické ukázky a chemické experimenty „na živo“, přesto by ale 6,9 % ocenilo využívání více videozáznamů ve výuce. Zajímavou (a frekventovanou) poznámkou je také to, že by bylo vhodné pro demonstraci použít kvalitnější didaktickou techniku. Toto vychází ze zkušenosti, že i když bylo při výrobě videozáznamů počítáno s tím, že ne všechny školy mají kvalitní promítací techniku, ukázalo se, že v některých případech byl i tak záznam špatně viditelný. Také se ukázalo, že některé třídy nemají dobře nadimenzovanou audiotechniku, a v jednom případě byl záznam dostatečně zřetelný jen při naprostém tichu ve třídě.

Vyhodnocení průměrných skóre otázek Q_17 až Q_24, Q_32 a PL jsou vidět v Tabulka 5. Z těchto dat vyplývá, že žáci byli celkově poměrně spokojeni s hodinou s využitím videozáznamů (průměr 5,76, medián 6), nejvíce napomáhají názornosti zpomalené videozáznamy, méně pak komentované videozáznamy a nejméně pak videozáznamy zrychlené. Žáci příliš nesouhlasí s tvrzením, že by využívání videozáznamů ve výuce bylo zbytečné, nevedou k lepšímu pochopení skutečnosti nebo že by videozáznamy byla pouze móda.

Tabulka 5: Průměrné skóre a mediány položek Q_ 17 až Q_24, Q_32 a PL

	Tvrzení	Průměr	Medián
Q_17	Myslím si, že využívání videí ve výuce je zbytečné	1,78	1,00
Q_18	Time-lapse pomáhají názornosti a pochopitelnosti	5,61	6,00
Q_19	Slow-mo pomáhají názornosti a pochopitelnosti	6,22	6,00
Q_20	Komentovaná videa pomáhají názornosti	6,06	6,00;
Q_21	Videa nevedou k lepšímu pochopení skutečnosti	1,99	2,00
Q_22	Videa jsou móda, která rychle zastarává	1,97	2,00
Q_23	Získané vědomosti využiji v jiných hodinách	4,16	4,00
Q_24	Videa bych využil pro získání vědomostí i doma	4,29	4,00
Q_32	Celkově jsem byl spokojen	5,76	6,00
PL	Součet bodů v pracovním listu	6,722	6,600

13.1.3.5 Vliv videoexperimentů na vnitřní motivaci žáků

Dále byl vyhodnocen vliv expozice připraveným pásmem videozáznamů na vnitřní motivaci žáků. Vnitřní cílová orientace je jednou ze škál *pre-testu*, jako hodnota vnitřní motivace tedy může být brána průměrné skóre této škály.

Celý výstupní *post-test* je již z principu zaměřen na vnitřní motivaci, hodnota vnitřní motivace po expozici může být tedy brána průměrné skóre *post-testu*. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 6.

Tabulka 6: Výsledné průměrné skóre škál vnitřní motivace

	Průměrné skóre	Směrodatná odchylka
Pre-test – škála 1 – Vnitřní cílová motivace	4,62	1,03
Post test – Vnitřní motivace	4,99	0,82

Z vypočtených dat vyplývá zvětšení průměrného skóre po expozici, toto tedy ukazuje, že shlédnutí hodiny, při které byly využívány videoexperimenty, vede k posunu vnitřní motivace žáků. Z tohoto pohledu lze prezentovaná videa považovat za zajímavá a motivační.

14. VÝSLEDKY A DISKUZE

14.1 Vytvořená interaktivní periodická tabulka prvků

V rámci řešení této disertační práce byla navržena a vytvořena interaktivní periodická tabulka prvků. Její návrh byl čistě v kompetenci autora, její design je pak dílem firmy Emphatic[126]. Design periodické tabulky prvků byl tvořen tak, aby zapadal do konceptu ostatních internetových stránek projektu přírodovědci.cz, jehož je součástí. Vlastní programování provedla firma 1st ART studio s.r.o.[127] podle dodaného zadání.

Tato periodická tabulka se od jiných projektů liší tím, že je kompletně v českém jazyce. Při tvorbě návrhu a ladění finální verze tabulky pak byl kladen důraz na motivační aspekt webu.

Periodická tabulka prvků obsahuje databázi fyzikálně-chemických údajů o jednotlivých prvcích. Tyto údaje byly čerpány z odborných a ověřených zdrojů, jako jsou tabulky publikované na stránkách IUPAC[125] a různá odborná literatura[15], [24], [121]–[123].

Na stránce byly navrženy interaktivní prvky, které mají zvýšit názornost demonstrováných informací. Jedná se o:

- rychlé náhledy základních fyzikálních vlastností prvků po najetí kurzorem na políčko prvku periodické tabulky (jméno české, jméno latinské, jméno anglické, teplota tání, teplota varu, atomová hmotnost)
- přehledné zobrazení jednotlivých typů prvků po najetí kurzorem na název (alkalické kovy, kovy alkalických zemin, nekovy, polokovy, přechodné kovy,...)
- vizualizace skupenství jednotlivých prvků v závislosti na teplotě nastavené pomocí posuvníku
- vizualizace objevených a neznámých prvků na základě roku nastaveného na posuvníku
- vizualizace hodnoty elektronegativity
- vizualizace radioaktivity prvků.

Ke všem prvkům byly připraveny krátké informační texty, jejichž odborná správnost je zaručena využitím odborně správných a ověřených zdrojů informací[15], [121], [124].

Informace o prvcích jsou rozdělené na následující oblasti:

- vlastnostmi prvků, příp. jejich typických sloučenin,
- výskytem na zemi příp. ve vesmíru,

- způsobem výroby a přípravy prvků,
- použitím prvků a jejich sloučenin v běžném životě,
- objevem prvku a původem jeho názvu,
- různými zajímavostmi.

Tyto popisy jsou vytvořeny s ohledem na předpoklad, že stránky s periodickou tabulkou budou navštěvovat žáci ZŠ a SŠ. Tyto texty mají hlavně motivační charakter.

Popisy prvků jsou v některých případech doplněny fotografiemi prvků vytvořenými na půdě PřF UK. Tyto fotografie dokumentují vzezření prvků, případně jejich sloučenin. Část fotografií byla vytvořena v mineralogickém muzeu PřF UK a ukazuje, jak vypadají tyto prvky v přírodě. Bohužel se kvůli dostupnosti prvků nepodařilo vytvořit fotografie všech prvků, toto zůstává jako dlouhodobý cíl do budoucna.

Internetová periodická tabulka prvků byla propojena s databází videozáznamů reakcí. Tyto videozáznamy se pak ukazují u jednotlivých prvků, kde je možné je přehrát.

Vytvořené stránky byly prezentovány učitelům chemie v rámci přednášky projektu Cesta do hlubin chemie na podzim 2015. Z rozhovorů s vybranou skupinou učitelů SŠ a ZŠ vyplynulo, že tito učitelé využívají tyto stránky jako studijní materiál pro sebe nebo své studenty.

14.2 Videozáznamy chemických reakcí

Bylo vytvořeno celkem 69 videozáznamů, které demonstrují vlastnosti chemických prvků a jejich sloučenin, případně základních chemických principů. Tyto videozáznamy se dají rozdělit do několika skupin:

- komentované videozáznamy,
- zrychlené videozáznamy – time-lapse,
- zpomalené videozáznamy – slow-motion.

Všechny tyto videozáznamy mají společné to, že názorně zobrazují pouhým okem špatně postřehnutelné chemické reakce nebo zobrazují chemické reakce, které jsou příliš nebezpečné nebo nákladné pro normální demonstraci.

Komentovaných videozáznamů bylo vytvořeno 9, tato videa byla vytvářena s pomocí profesionálního filmaře, který měl na starosti obsluhu a nastavení filmové techniky a následné zpracování a střih natočeného materiálu. Návrhy pokusů, vytváření scénářů a kontrola odborné správnosti je pak dílem autora.

Dále bylo navrženo 60 chemických reakcí, které zajímavým způsobem demonstrují vlastnosti prvků. Byly vybírány takové pokusy, jejichž běžný záznam nedokáže zachytit chemické změny z toho důvodu, že se jedná o děje příliš pomalé (pak by videozáznam musel mít např. několik hodin, což by ubralo na názornosti), příliš rychlé (pak by na videozáznamu o délce několik desetin vteřiny nebyly patrné demonstrováné děje) nebo se jedná o děje příliš malé, než aby se daly zaznamenat pomocí běžné kamery.

Pro záznam pomocí rychloběžné kamery byly vyzkoušeny různé možnosti nastavení scény a bylo nalezeno optimální řešení. Stejný postup byl proveden pro vytváření časosběrných záznamů a pro záznam pomocí makro objektivu. Obzvlášť byla studována technika osvětlování natáčených objektů, výběr vhodného pozadí a vhodných nádob pro provádění reakcí. Vše vedlo k vytvoření vizuálně přitažlivých videozáznamů na profesionální úrovni s maximální možnou názorností bez rušivých prvků.

Pro zpracování byly vyzkoušeny různé typy programů a opět byla vybrána optimální varianta. Záznamy byly upraveny a sestříhány do formy krátkých, maximálně minutových klipů, kterým byly přidány popisy. Další popisy byly vytvořeny jako texty popisující jednotlivé děje na videozáznamech, tyto texty jsou distribuovány spolu s klipy.

Vzniklé upravené a sestříhané videozáznamy byly exportovány a umístěny na server www.youtube.com a byly zabudovány do internetové periodické tabulky chemickeprvky.cz, kde byly v průběhu roku postupně zveřejňovány. Samotné záznamy jsou tedy volně přístupné široké veřejnosti na internetu.

Ověření vytvořených videozáznamů bylo prováděno pomocí dotazníkového šetření zaměřeného na změnu motivačních orientací žáků. Z 20 vytvořených videozáznamů bylo sestaveno pásmo s názvem „Hoření objektivem kamery“. Toto pásmo obsahovalo jak komentované videozáznamy, tak zpomalené slow-motion videozáznamy a časosběrné time-lapse videozáznam. Toto pásmo bylo demonstrováno celkem 365 žákům základních škol a gymnázií. Těm byl před vlastní demonstrací videozáznamů rozdán první dotazník, po demonstraci pak dotazník druhý.

Na základě statistického zpracování dat z dotazníků bylo pomocí výpočtu Cronbachova alfa zjištěno, že v rámci sledovaných subškál jsou data poměrně dobře konzistentní, pouze

v případě vědomí vlastní zodpovědnosti při učení se je potřeba výsledky považovat za méně věrohodné.

Analýza korelací mezi jednotlivými položkami ukázala, že:

- vysoce vnitřně motivovaní jedinci mají vysokou sebeúčinnost v učení se (a nebo naopak), tzn. hodlají si z hodiny odnést co nejvíce, což podporuje jejich pozornost,
- jedinci s vysokou vnější motivační orientací jsou ochotni vynaložit větší úsilí (a nebo naopak); dá se očekávat, že na tyto jedince má velký vliv učitel,
- jedinci, kteří si myslí, že tématu rozumí, mají o téma větší zájem a naopak, jedinci, které téma baví, mají větší sebedůvěru, že téma zvládnou,
- jedinci, kteří chápou význam tématu, jej sledují se zájmem (a nebo naopak),
- jedinci, kteří si uvědomují užitečnost daného tématu, chápou vlastní schopnosti.

Silná korelace pak byla zjištěna mezi dalšími položkami z třetí části dotazníku mimo dotazníky zabývající se motivačními orientacemi. Z korelací vyplývá následující:

- zpomalená (slow-motion) a zrychlená (time-lapse) videa napomáhají k lepšímu pochopení a názornosti,
- zpomalená (slow-motion) a komentovaná videa napomáhají k lepšímu pochopení a názornosti,
- komentované videozáznamy jsou u žáků populárnější a zábavnější a vidí v nich užitečnost, obdobně je tomu u zpomalených (slow-motion) videozáznamů,
- zrychlené (time-lapse) videozáznamy žáky příliš neoslovily,
- žáci, kteří vidí ve videozáznamech zdroj informací, by si tyto záznamy pustili i doma
- žáci, kteří si myslí, že videozáznamy nevedou k lepšímu pochopení skutečnosti tvrdí, že jejich využívání ve výuce je zbytečné,
- žáci, kteří nevidí ve videozáznamech význam a nemají potěšení z jejich sledování, označují tyto videozáznamy za zbytečné a módní.

Z tohoto je vidět, že jsou žáci, kteří ve využívání videozáznamů ve výuce vidí význam a možnost dozvědět se nové informace a naopak jsou žáci, kteří nechápou, proč by měly být videa využívána.

Dále se podařilo zjistit, že je statisticky signifikantní rozdíl mezi chlapci a dívkami v názoru na pochopitelnost zrychlených (time-lapse) videí, kde chlapci považují tato videa názornější, obdobně je tomu u názoru, zda videa vedou k lepší pochopitelnosti zobrazované skutečnosti. V pracovním listu pak chlapci dosahovali signifikantně vyššího skóre, toto ale může být způsobeno větší oblibou techniky mezi chlapci. Chlapci jsou také přesvědčeni, že mají vyšší

sebeúčinnost v učení se, stejně tak jsou více přesvědčeni o svých schopnostech. Naopak dívky jsou ochotny vynaložit větší úsilí při cestě za cílem.

Analýza dat také ukázala, že jsou statisticky významné rozdíly v některých tvrzeních mezi skupinami různě starých žáků. Jedná se o uvědomění si sebeúčinnosti v učení se, která se vzrůstajícím věkem klesá, a naopak se vzrůstajícím věkem jsou žáci ochotni vynaložit větší úsilí.

Analýza také ukázala, že na motivační postoje žáků má vliv prostředí školy a třídy, v tomto faktoru se pak schovává vliv samotného učitele na žáky.

Otázky z dotazníků, které se zabývaly názory žáků na hodinu s videozáznamy, ukazují, že celkově byli žáci s hodinou spokojeni (průměr 5,76, medián 6,00). Žáci se také vyjádřili ve smyslu, že si nemyslí, že by použití videozáznamů bylo zbytečné, a že nevede k lepšímu pochopení skutečnosti. Největší názornost pak přisoudili videozáznamům zpomaleným, pak komentovaným a nejmenší videozáznamům zrychleným. Tento výsledek ale může být způsobem výběrem nevhodného zrychleného videozáznamu.

Frekvenční analýzou odpovědí na otázky s otevřenou odpovědí bylo zjištěno, že absolutní většina žáků pochopila, jaké bylo téma hodiny. Nejčastější odpovědí na otázku co si žáci z hodiny odnesly za poznatky, jsou samotné informace o hoření, častou odpovědí pak jsou barvy plamenů. Na hodině se nejvíce žákům líbila samotná videa, žádnou část hodiny pak nepovažují za těžkou. Ukazuje se, že žáci neznají téměř žádné autory, kteří by se zabývali tvorbou videozáznamů s chemickou tematikou, ale část se s nimi setkala. Žáci by pak rádi obohatili hodinu o živé demonstrační pokusy.

Porovnáním průměrného skóre vnitřní motivace z *pre-testu* a průměrného skóre *post-testu*, tedy porovnáním vnitřní cílové motivace před expozicí a po expozici videozáznamy vychází, že se průměrné skóre zvětšilo (z 4,62 na 4,99), dá se tedy předpokládat, že shlédnutí vytvořených videozáznamů vede k posunu vnitřní motivace. Z tohoto pohledu pak lze prezentované videozáznamy považovat za zajímavé a motivační.

14.3 Fyzické modely vytvořené pomocí 3D tisku

V rámci této práce byly prozkoumány možnosti použití 3D tiskáren pro vytváření učebních pomůcek pro výuku chemie. Byly prozkoumány různé technologie 3D tisku a vybrány technologie vhodné pro školní prostředí s ohledem na provozní náklady a výsledné produkty.

Byly prozkoumány publikované postupy výroby digitálních modelů, tyto postupy byly optimalizovány pro použití ve školách. Dále byly vytvořeny a popsány postupy nové a originální.

Na základě konzultace s vyučujícími bylo vytvořeno několik sad modelů pro výuku chemie. Jedná se o následující objekty:

- modely tvarů molekul pro výuku VSEPR – vytvořeno pomocí programu OpenSCAD, celkem 13 modelů v různých variantách, velikost cca 10 cm,
- modely tvaru molekul koordinačních částic se znázorněním prvků symetrie – vytvořeno pomocí programu OpenSCAD, celkem 5 modelů o velikosti cca 20 cm,
- modely allotropických modifikací uhlíku – grafit, diamant, fullerén, nanotrubičky – vytvořeno na základě údajů z rentgenové strukturní analýzy, celkem 5 modelů o velikosti asi 20 cm,
- modely molekul izomerů cyklooktenu – vytvořeno na základě kvantově-mechanických výpočtů, celkem 3 modely o velikosti 10 cm,
- modely struktur proteinů – cytochrom C, plastocyanin – vytvořeno na základě dat z rentgenové strukturní analýzy, celkem 2 modely o velikosti 15 cm, modely byly po vytisknutí ručně kolorované,
- modely atomových orbitalů – vytvořeny na základě matematických vztahů popisujících vlnové funkce pomocí programu Mathematica, celkem 16 modelů o velikosti cca 20 cm,
- modely 3D periodických tabulek prvků demonstrujících trendy v tabulce – vytvořeny v programu OpenSCAD na základě fyzikálně-chemických dat získaných z ověřených zdrojů, celkem 7 modelů o velikosti 19 cm,
- náhradní díly k molekulové stavebnici – vytvořeny v programu OpenSCAD na základě originálních dílů, celkem 9 modelů o velikosti cca 15 mm.

Všechny modely byly vytvořeny tak, aby v maximální míře vizualizovaly demonstrováné jevy, byly názorné a byly odborně správné (zachování tvaru, úhlů, poměru velikostí,...).

Vytvořené digitální modely byly publikovány v internetové databázi digitálních modelů www.thingiverse.com, kde jsou volně ke stažení a použití

Pro vytvořené digitální modely byly optimalizovány parametry pro tisk a byly vyrobeny pomocí FDM 3D tiskárny.

Všechny vytvořené modely byly použity při výuce chemie na SŠ a VŠ a prezentovány středoškolským učitelům chemie. Modely byly kladně přijaty jak učiteli, tak žáky.

Na internetových stránkách www.thingiverse.com pak byla vytvořena kolekce modelů vhodných pro výuku chemie. Analýza přístupů ukázala, že se jedná o poměrně oblíbené modely, například model 3D periodické tabulky si již prohlédlo přes 2500 lidí a přes 1200 uživatelů si jej stáhlo.

Připravené modely a způsoby využití 3D tiskárny pro výrobu učebních pomůcek pro potřeby učitelů chemie na SŠ byly demonstrovány v rámci projektu „Cesta do hlubin studia chemie“. Z dotazníku, který účastníci vyplňovali na konci cyklu je patrné, že je myšlenka výroby pomůcek pomocí 3D tiskárny zaujala (z 51 účastníků ohodnotilo 24 účastníků tuto demonstraci známkou 1, 5 účastníků známkou 2, ostatní se průzkumu nezúčastnili).

15. ZÁVĚR

V rámci této práce byla vytvořena internetová interaktivní periodická tabulka (chemickeprvky.cz). Byl navržen její design, funkční prvky a tabulka byla propojena s databází fyzikálně chemických vlastností daných prvků. Ke každému prvku pak byl vytvořen text, který se přibližuje vlastnosti, přípravu a použití daného prvku.

Bylo navrženo a vytvořeno celkem 69 videozáznamů ukazujících chemické vlastnosti některých prvků periodické tabulky prvků a jejich sloučenin. Z tohoto množství je 9 videozáznamů komentovaných, 38 zpomalených (slow-motion), 11 zrychlených (time-lapse) a 10 vytvořeno technikou makro videozáznamu. Tyto videozáznamy zaznamenávají chemické děje, které jsou pouhým okem špatně viditelné kvůli tomu, že jsou příliš rychlé, pomalé nebo malé, případně takové, které je nebezpečné demonstrovat ve školní laboratoři nebo třídě. Videozáznamy jsou vytvořeny v nejlepší dostupné kvalitě a při jejich práci bylo dbáno na estetickou stránku videozáznamů, stejně tak na jejich názornost.

Vliv vytvořených videozáznamů na motivační postoje žáků byl zkoumán pomocí dotazníků zkoumající motivační orientaci a bylo mimo jiné zjištěno, že žáci považují vytvořená videa za motivační a zajímavé.

Dále byly prozkoumány možnosti využití 3D tiskáren pro výrobu modelů pro výuku chemie. Byly vytvořeny postupy přípravy digitálních modelů a optimalizována jejich výroba pomocí 3D tiskárny. Celkem byly vytvořeny následující fyzické modely: modely tvarů molekul vycházející z teorie VSEPR, modely pro výuku symetrie koordinačních sloučenin, modely různých anorganických a organických sloučenin na základě dat rentgenové strukturní analýzy případně vypočtených prostorových uspořádání. Byly vytvořeny modely proteinů a bílkovin v zobrazení Cartoon, dále pak modely jednotlivých atomových orbitalů, sada 3D periodických tabulek prvků a náhradní díly k molekulovým stavebnicím.

17. LITERATURA

- [1] J. Balada, *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia: RVP G*. Praha: Výzkumný ústav pedagogický v Praze, 2007.
- [2] Dr. Małgorzata Nodzyńska, „Vizualizace v chemii a ve výuce chemie“, Habilitační práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2012.
- [3] J. Skalková, *Obecná didaktika: vyučovací proces, učivo a jeho výběr, metody, organizační formy vyučování*. Praha: Grada, 2007.
- [4] J. Maňák a V. Švec, *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003.
- [5] J. Dostál, *Učební pomůcky a zásada názornosti*. Olomouc: Votobia Olomouc, 2008.
- [6] A. Vališová a H. Kasíková, *Pedagogika pro učitele*. Praha: Grada, 2007.
- [7] Z. Kalhous a O. Obst, *Školní didaktika*. Praha: Portál, 2002.
- [8] RNDr. Zdeňka Hájková, „Demonstrace jako prostředek názornosti v chemickém vzdělávání Disertační práce“, Disertační práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2014.
- [9] G. Petty a J. Foltýn, *Moderní vyučování*. Praha: Portál, 2013.
- [10] J. Průcha, E. Walterová, a J. Mareš, *Pedagogický slovník*. Praha: Portál, 2003.
- [11] J. Maňák, *Nárys didaktiky*. Brno: Masarykova Univerzita, 1995.
- [12] M. C. Hunter a E. Vondráková, *Účinné vyučování v kostce*. Praha: Portál, 1999.
- [13] C. E. Housecroft a A. G. Sharpe, *Anorganická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2014.
- [14] „Periodic table“, *Wikipedia*. 21-čer-2017.
- [15] N. N. Greenwood a A. Earnshaw, *Chemie prvků. Sv. 2. Sv. 2*. Praha: Informatorium, 1993.
- [16] „IUPAC is naming the four new elements nihonium, moscovium, tennessine, and oganesson| International Union of Pure and Applied Chemistry“, *IUPAC | International Union of Pure and Applied Chemistry*, 08-čer-2016. [Online]. Dostupné z: <https://iupac.org/iupac-is-naming-the-four-new-elements-nihonium-moscovium-tennessine-and-oganesson/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [17] „Periodické tabulce přibyly čtyři nové prvky. Žádný dlouho nevydrží“, *iDNES.cz*, 04-led-2016. [Online]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/nove-prvky-v-periodicke-tabulce-dn3-/veda.aspx?c=A160104_131108_veda_mla. [Viděno: 28-čer-2017].
- [18] P. Šmejkal, „www.chemickeprvky.cz“, *E-Molecz*, č. 7–8, 2016.
- [19] „Periodická tabulka prvků - užitečná pomůcka do chemie - PeriodickaTabulka.cz“. [Online]. Dostupné z: <http://www.periodickatabulka.cz/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [20] „Periodická soustava prvků“. [Online]. Dostupné z: <http://prvky.chemicke-vypocty.cz/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [21] „Periodická tabulka prvků“. [Online]. Dostupné z: <http://tabulka.cz/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [22] „Periodická Tabulka (Czech Periodic Table)“. [Online]. Dostupné z: <http://www.phtable.com/?lang=cs#>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [23] „Periodická tabulka prvků“. [Online]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/periodicka-tabulka.html>. [Viděno: 28-čer-2017].

- [24] „Merck Performance Materials - PSE App". [Online]. Dostupné z: http://www.merck-performance-materials.com/en/media_center/pse_app/pse_app.html. [Viděno: 25-čer-2017].
- [25] „The Periodic Table of Videos - University of Nottingham". [Online]. Dostupné z: <http://periodicvideos.com/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [26] B. Haran a M. Poliakoff, „The Periodic Table of Videos", *Science*, roč. 332, č. 6033, s. 1046–1047, kvě. 2011.
- [27] „Periodic Table – Royal Society of Chemistry". [Online]. Dostupné z: <http://www.rsc.org/periodic-table>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [28] O. Maca, „Experimenty pro výuku chemie na střední škole - motivace a osvojování učiva", Diplomová práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2010.
- [29] Kamil Wichterle, „Chemie zpupná a nenáviděná", *Chem. Listy*, roč. 2010, č. 104, s. 753–755.
- [30] Bc. Eva Vrzáčková, „Videodatabáze chemických pokusů - tvorba a evaluace", Diplomová práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2013.
- [31] RNDr. Petr Koloros, „Školní pokus ve výuce chemie - minulost a současnost", Disertační práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2011.
- [32] Svoboda, Lubomír, „Internetová video-databáze chemických pokusů, její tvorba a možnosti využití v chemickém vzdělávání", Habilitační práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2013.
- [33] Eva Vrzáčková, „Tvorba Databáze experimentů pro výuku chemie", Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2011.
- [34] Mgr. Irena Plucková, „Efektivita a využití videomédií ve výuce chemie na ZŠ", Disertační práce, Masarykova Univerzita v Brně, Pedagogická fakulta, Brno, 207n. 1.
- [35] L. Míka, „Použití speciálních technik při pořizování záznamů chemických experimentů", in *Sborník příspěvků z konference 20.–21. 5. 2015*, Brno, 2015, roč. 2015.
- [36] Martin Krška, „Zásady tvorby výukového videa v oblasti středního odborného vzdělávání", Bakalářská práce, Masarykova Univerzita v Brně, Pedagogická fakulta, Brno, 2013.
- [37] K. P. King, „The Motion Picture in Science Education: “One Hundred Percent Efficiency”", *J. Sci. Educ. Technol.*, roč. 8, č. 3, s. 211–226, zář. 1999.
- [38] „Studiumchemie.cz - Podpora výuky chemie na ZŠ a SŠ". [Online]. Dostupné z: <http://www.studiumchemie.cz/>. [Viděno: 06-čvc-2017].
- [39] „Katedra chemie ZF JU". [Online]. Dostupné z: <http://kch.zf.jcu.cz/didaktika/pokus%20JP/index.htm>. [Viděno: 06-čvc-2017].
- [40] L. Svoboda, K. Kajliková, a E. Dadáková, „Nové kapitoly internetové video-databáze", *Chem. Listy*, č. 105, s. 559, 2011.
- [41] „YouTube". [Online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/>. [Viděno: 06-čvc-2017].
- [42] J. S. Ranga, „Customized Videos on a YouTube Channel: A Beyond the Classroom Teaching and Learning Platform for General Chemistry Courses", *J. Chem. Educ.*, kvě. 2017.
- [43] M. Vollmer a K.-P. Möllmann, „Exploding balloons, deformed balls, strange reflections and breaking rods: slow motion analysis of selected hands-on experiments", *Phys. Educ.*, roč. 46, č. 4, s. 472, 2011.

- [44] M. Vollmer a K.-P. Möllmann, „Thermodynamics of gases: combustion processes, analysed in slow motion”, *Phys. Educ.*, roč. 48, č. 1, s. 22, 2013.
- [45] M. Vollmer a K.-P. Möllmann, „High speed and slow motion: the technology of modern high speed cameras”, *Phys. Educ.*, roč. 46, č. 2, s. 191, 2011.
- [46] B. Kelly, „Thirty Frames Per Second”, *NSTA WebNews Digest*, 2006. [Online]. Dostupné z: <http://www.nsta.org/publications/news/story.aspx?id=52602>. [Viděno: 06-čvc-2017].
- [47] A. Dewanto, G. Q. Lim, J. Kuang, J. Zhang, a Y. Yeo, „The world in slow motion: using a high-speed camera in a physics workshop”, *Phys. Educ.*, roč. 47, č. 6, s. 764, 2012.
- [48] J. Koupil a V. Vícha, „Simple phenomena, slow motion, surprising physics”, *Phys. Educ.*, roč. 46, č. 4, s. 454, 2011.
- [49] „Periodic Videos - YouTube”. [Online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/>. [Viděno: 06-čvc-2017].
- [50] „www.periodictableru - YouTube”. [Online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/>. [Viděno: 06-čvc-2017].
- [51] R. Hakl a a kol., „Digitální video: od námětu k vlastnímu krátkometrážnímu filmu”, Učební text, Masarykova Univerzita v Brně, Fakulta informatiky, Brno, 2005.
- [52] P. G. McMenamin, M. R. Quayle, C. R. McHenry, a J. W. Adams, „The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology”, *Anat. Sci. Educ.*, roč. 7, č. 6, s. 479–486, lis. 2014.
- [53] L. Míka, „3D Printed VSEPR Models and 3D Periodic Tables for Chemistry Education”, in *Proceedings of the 7th International Conference on Research in Didactics of the Sciences DidSci 2016 June 29th – July 1st, 20*, Kraków, 2016, roč. 7.
- [54] „Chemie | Conatex Didactic”. [Online]. Dostupné z: <https://www.conatex.cz/chemie>. [Viděno: 28-lis-2016].
- [55] „Zboží > CHEMIE - RNDr. Karel Martyčák - ML chemica”. [Online]. Dostupné z: <https://www.ucebnipomucky.net/katalog/zbozi/chemie>. [Viděno: 28-lis-2016].
- [56] „Chemie | DIPO”. [Online]. Dostupné z: <https://www.skolni-pomucky.eu/hlavni-oddeleni/vsechny-kategorie/ucebni-pomucky/chemie/>. [Viděno: 28-lis-2016].
- [57] „Učební pomůcky do chemie”. [Online]. Dostupné z: <http://www.multip.cz/ucebni-pomucky-pro-chemii>. [Viděno: 28-lis-2016].
- [58] „Učební pomůcky pro chemii”. [Online]. Dostupné z: <http://www.didaktik.cz/chemie.html>. [Viděno: 28-lis-2016].
- [59] D. Siodłak, „Building Large Molecular Models with Plastic Screw-On Bottle Caps and Sturdy Connectors”, *J. Chem. Educ.*, roč. 94, č. 2, s. 256–259, úno. 2017.
- [60] C. Chuang, B.-Y. Jin, C.-C. Tsou, N. Y.-W. Tang, P. S. M. Cheung, a L. A. Cuccia, „Molecular Modeling of Fullerenes with Beads”, *J. Chem. Educ.*, roč. 89, č. 3, s. 414–416, úno. 2012.
- [61] J. M. Beaton, „A paper-pattern system for the construction of fullerene molecular models”, *J. Chem. Educ.*, roč. 69, č. 8, s. 610, srp. 1992.
- [62] L. Yong Xian, „How to assemble a protein molecular model more quickly”, *J. Chem. Educ.*, roč. 65, č. 2, s. 154, úno. 1988.
- [63] Mgr. Anna Fendrychová, „Praktické úlohy pro výuku biochemie, Struktura proteinů”, Rigorózní práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2015.

- [64] L. Casas a E. Estop, „Virtual and Printed 3D Models for Teaching Crystal Symmetry and Point Groups", *J. Chem. Educ.*, roč. 92, č. 8, s. 1338–1343, srp. 2015.
- [65] V. F. Scalfani a T. P. Vaid, „3D Printed Molecules and Extended Solid Models for Teaching Symmetry and Point Groups", *J. Chem. Educ.*, roč. 91, č. 8, s. 1174–1180, srp. 2014.
- [66] P. P. Rodenbough, W. B. Vanti, a S.-W. Chan, „3D-Printing Crystallographic Unit Cells for Learning Materials Science and Engineering", *J. Chem. Educ.*, roč. 92, č. 11, s. 1960–1962, lis. 2015.
- [67] P. Lolur a R. Dawes, „3D Printing of Molecular Potential Energy Surface Models", *J. Chem. Educ.*, roč. 91, č. 8, s. 1181–1184, srp. 2014.
- [68] D. S. Kaliakin, R. R. Zaari, a S. A. Varganov, „3D Printed Potential and Free Energy Surfaces for Teaching Fundamental Concepts in Physical Chemistry", *J. Chem. Educ.*, roč. 92, č. 12, s. 2106–2112, pro. 2015.
- [69] D. N. Blauch a F. A. Carroll, „3D Printers Can Provide an Added Dimension for Teaching Structure–Energy Relationships", *J. Chem. Educ.*, roč. 91, č. 8, s. 1254–1256, srp. 2014.
- [70] K. M. Griffith, R. de Cataldo, a K. H. Fogarty, „Do-It-Yourself: 3D Models of Hydrogenic Orbitals through 3D Printing", *J. Chem. Educ.*, roč. 93, č. 9, s. 1586–1590, zář. 2016.
- [71] F. A. Carroll a D. N. Blauch, „3D Printing of Molecular Models with Calculated Geometries and p Orbital Isosurfaces", *J. Chem. Educ.*, čer. 2017.
- [72] M. J. Robertson a W. L. Jorgensen, „Illustrating Concepts in Physical Organic Chemistry with 3D Printed Orbitals", *J. Chem. Educ.*, roč. 92, č. 12, s. 2113–2116, pro. 2015.
- [73] S. Rossi, M. Benaglia, D. Brenna, R. Porta, a M. Orlandi, „Three Dimensional (3D) Printing: A Straightforward, User-Friendly Protocol To Convert Virtual Chemical Models to Real-Life Objects", *J. Chem. Educ.*, roč. 92, č. 8, s. 1398–1401, srp. 2015.
- [74] P. J. Kitson, A. Macdonell, S. Tsuda, H. Zang, D.-L. Long, a L. Cronin, „Bringing Crystal Structures to Reality by Three-Dimensional Printing", *Cryst. Growth Des.*, roč. 14, č. 6, s. 2720–2724, čer. 2014.
- [75] V. F. Scalfani *et al.*, „Programmatic conversion of crystal structures into 3D printable files using Jmol", *J. Cheminformatics*, roč. 8, č. 1, s. 66, lis. 2016.
- [76] „3D Printing and Molecular Models | Barney Lab". [Online]. Dostupné z: <http://barneybioproductslab.cfans.umn.edu/research/3d-printing-and-molecular-models>. [Viděno: 29-lis-2016].
- [77] E. K. Grasse, M. H. Torcasio, a A. W. Smith, „Teaching UV–Vis Spectroscopy with a 3D-Printable Smartphone Spectrophotometer", *J. Chem. Educ.*, roč. 93, č. 1, s. 146–151, Leden 2016.
- [78] M. Lu, J. Su, W. Wang, a J. Lu, „Visualization of Kepler's laws of planetary motion", *Phys. Educ.*, roč. 52, č. 2, s. 025006, 2017.
- [79] K. H. A. Lim, Z. Y. Loo, S. J. Goldie, J. W. Adams, a P. G. McMenemy, „Use of 3D printed models in medical education: A randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy", *Anat. Sci. Educ.*, roč. 9, č. 3, s. 213–221, kvě. 2016.

- [80] B. Hughes a G. Wilson, „3D/Additive Printing Manufacturing: A Brief History and Purchasing Guide", *Technol. Eng. Teach.*, roč. 75, č. 4, s. 18–21, 2016.
- [81] „3D printing", *Wikipedia*. 21-lis-2016.
- [82] J. Průša a M. Průša, „Základy 3D tisku". Prusa Research s.r.o., 2014.
- [83] „Powder bed and inkjet head 3D printing", *Wikipedia*. 14-dub-2017.
- [84] E. Canessa, C. Fonda, a M. Zennaro, Ed., *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development*. Trieste: ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 2013.
- [85] „RepRap project", *Wikipedia*. 26-říj-2016.
- [86] „RepRap - RepRapWiki". [Online]. Dostupné z: <http://reprap.org/>. [Viděno: 26-lis-2016].
- [87] „3D tiskárny RepRap: Open-source mašinky, které vám usnadní život - Linux E X P R E S". [Online]. Dostupné z: <https://www.linuxexpres.cz/hardware/3d-tisk>. [Viděno: 29-lis-2016].
- [88] J. Muskin, M. Ragusa, a T. Gelsthorpe, „Three-Dimensional Printing Using a Photoinitiated Polymer", *J. Chem. Educ.*, roč. 87, č. 5, s. 512–514, kvě. 2010.
- [89] „Stereolithography", *Stratasys Direct Manufacturing*. .
- [90] „Stereolithography", *Wikipedia*. 17-říj-2016.
- [91] „Selective laser sintering", *Wikipedia*. 03-lis-2016.
- [92] „Laser Sintering", *Stratasys Direct Manufacturing*. .
- [93] „Fused Deposition Modeling", *Stratasys Direct Manufacturing*. .
- [94] „Fused filament fabrication", *Wikipedia*. 16-říj-2016.
- [95] „Fused deposition modeling", *Wikipedia*. 13-lis-2016.
- [96] R. M. Snyder, *An Overview of the Past, Present, and Future of 3D Printing Technology with an Emphasis on the Present*. Association Supporting Computer Users in Education (ASCUE), 2014.
- [97] „YSoft be3D 3D Printing for Education". [Online]. Dostupné z: <https://www.ysoft.com/en/3d-printing-for-education>. [Viděno: 28-lis-2016].
- [98] „Ultimaker 3 | Ultimaker", *Ultimaker.com*. [Online]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-3>. [Viděno: 09-čer-2017].
- [99] „Technical", *Robox*[®]. .
- [100] „Builder Premium Small Red", *Builder 3D Printers*. .
- [101] „Magic Lantern | Home". [Online]. Dostupné z: <http://www.magiclantern.fm/>. [Viděno: 06-čvc-2017].
- [102] *Adobe Premiere Pro CS4*. San José: Adobe Systems, 2007.
- [103] *Adobe Photoshop CS4 Extended*. San José: Adobe Systems, 2007.
- [104] *Zoner Photo Studio*. Brno: ZONER software, 1995.
- [105] „gnu.org". [Online]. Dostupné z: <https://www.gnu.org/software/pspp/>. [Viděno: 29-čer-2017].
- [106] netfabb GmbH, *netfabb Private*. Lupburg, Germany: netfabb GmbH, 2015.
- [107] *Meshmixer*. San Rafael: Autodesk Inc., 2017.
- [108] *Fusion360*. San Rafael: Autodesk Inc., 2017.
- [109] Marius Kintel, *OpenSCAD*. 2015.
- [110] *TinkerCAD*. San Rafael: Autodesk Inc., 2016.

- [111] Ref. Dassault Systèmes BIOVIA, *Discovery Studio Modeling Environment, Release 2017*, San Diego: Dassault Systèmes, 2016. .
- [112] W. Humphrey, A. Dalke, a K. Schulten, „VMD: Visual molecular dynamics", *J. Mol. Graph.*, roč. 14, č. 1, s. 33–38, úno. 1996.
- [113] M. Thompson, *ArgusLab Molecular Modeling Program*. Washington: PlanariaSoftware LLC, 2004.
- [114] *ACD/ChemSketch*. Toronto: Advanced Chemistry Development, Inc., 1994.
- [115] *ChemOffice*. Cambridge Professional: CambridgeSoft Corp., 1998.
- [116] Wolfram Research Inc., *Mathematica*. Champaign, Illinois: Wolfram Research Inc., 2014.
- [117] Ian Hudson, Ben Willcocks, a Tony Abdulhaq Lynch, *AutoMaker*. Briston: CEL Technology Ltd., 2014.
- [118] Ultimaker B.V., *Cura*. Geldermalsen The Netherlands: Ultimaker B.V., 2015.
- [119] *Simplify3D*. Simplify3D LLC.
- [120] „Slic3r - About". [Online]. Dostupné z: <http://slic3r.org/about>. [Viděno: 16-čer-2017].
- [121] F. A. Cotton a G. Wilkinson, Ed., *Advanced inorganic chemistry*, 6th ed. New York: Wiley, 1999.
- [122] N. Turova, *Inorganic chemistry in tables*. Berlin: Springer, 2011.
- [123] J. Vohlídal, K. Štulík, a A. Julák, *Chemické a analytické tabulky*. Praha: Grada, 1999.
- [124] I. Lukeš a Z. Mička, *Anorganická chemie II.: (systematická část)*. Praha: Karolinum, 1998.
- [125] M. E. Wieser *et al.*, „Atomic weights of the elements 2011 (IUPAC Technical Report)", *Pure Appl. Chem.*, roč. 85, č. 5, led. 2013.
- [126] „Emphatic - Digital Agency & Startup Incubator", *Emphatic - Digital Agency & Startup Incubator*. [Online]. Dostupné z: <http://www.emphatic.cz/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [127] „1st ART Studio s.r.o." [Online]. Dostupné z: <http://www.1art.cz/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [128] „Úvod | Přírodovědci.cz". [Online]. Dostupné z: <https://www.prirodovedci.cz/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [129] P. Zelenka, „Periodická video tabulka prvků". [Online]. Dostupné z: <http://www.chemickeprvky.cz/>. [Viděno: 28-čer-2017].
- [130] Jiří Vacík, *Obecná chemie*. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, 2017.
- [131] „Ribbon diagram", *Wikipedia*. 29-říj-2016.
- [132] „NinjaFlex Flexible 3D Printing Filament", *NinjaTek*. [Online]. Dostupné z: <https://ninjatek.com/products/filaments/ninjaflex/>. [Viděno: 09-čer-2017].
- [133] „CarbonX™ Carbon Fiber NYLON 3D Printing Filament", *3DXTech*. [Online]. Dostupné z: <http://www.3dxtech.com/carbonx-carbon-fiber-nylon-3d-printing-filament/>. [Viděno: 09-čer-2017].
- [134] R. s.r.o, „3D tiskové struny CONDUCTIVE", *ESUN 3D tiskové struny*. [Online]. Dostupné z: <http://www.esun3d.cz/filament/3d-tiskove-struny-conductive>. [Viděno: 09-čer-2017].
- [135] „BRONZEFILL", *colorFabb 3D Printing Filament Online Store*. [Online]. Dostupné z: <http://colorfabb.com/bronzefill>. [Viděno: 09-čer-2017].
- [136] „WOODFILL", *colorFabb 3D Printing Filament Online Store*. [Online]. Dostupné z: <http://colorfabb.com/woodfill>. [Viděno: 09-čer-2017].

- [137] „3D tisk na zakázku | 3Dwiser.com", *3Dwiser*. .
- [138] „Shapeways 3D Printing Marketplace", *Shapeways.com*. [Online]. Dostupné z: /marketplace/. [Viděno: 30-lis-2016].
- [139] „① 3D printing marketplace: Download & Sell 3D .STL printer files ①". [Online]. Dostupné z: <http://www.fabbly.com/>. [Viděno: 30-lis-2016].
- [140] Thingiverse.com, „MakerBot Thingiverse". [Online]. Dostupné z: <http://www.thingiverse.com/about/>. [Viděno: 30-lis-2016].
- [141] *AutoCAD*. San Rafael: Autodesk Inc., 2016.
- [142] B. Foundation, „blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software", *blenaer.org*. .
- [143] „Kinect", *Wikipedia*. 04-čvc-2017.
- [144] *Jmol: an open-source Java viewer for chemical structures in 3D*. <http://www.jmol.org/>. .
- [145] „Cubehero Blog", *Cubehero Blog*. [Online]. Dostupné z: <https://cubehero.com/>. [Viděno: 29-lis-2016].
- [146] P. R. Pintrich a And Others, *A Manual for the Use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ)*. 1991.
- [147] R. M. Ryan, „Control and information in the intrapersonal sphere: An extension of cognitive evaluation theory", *J. Pers. Soc. Psychol.*, roč. 43, č. 3, s. 450–461, 1982.
- [148] E. McAuley, T. Duncan, a V. V. Tammen, „Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: a confirmatory factor analysis", *Res. Q. Exerc. Sport*, roč. 60, č. 1, s. 48–58, bře. 1989.
- [149] P. Šmejkal, M. Skoršepa, E. S. Urválková, a P. Teplý, „Chemické úlohy se školními měřicími systémy: motivační orientace žáků v badatelsky orientovaných úlohách", *Sci. Educ.*, roč. 7, č. 1, s. 29–48, čvc. 2016.
- [150] M. Skoršepa, *Počítačom podporované experimenty v prírodovednom vzdelávaní*. Banská Bystrica: Belianum, 2015.
- [151] L. J. Cronbach, „Coefficient alpha and the internal structure of tests", *Psychometrika*, roč. 16, č. 3, s. 297–334, zář. 1951.

18. PŘÍLOHY

18.1 Seznam příloh

Příloha 1: Seznam jednotlivých vytvořených videozáznamů se zařazením videozáznamů k jednotlivým PTP, odkazem na umístění videozáznamu na serveru youtube.com a použitými speciálními videotechnikami. Videozáznamy jsou seřazeny podle data zveřejnění na stránkách chemickeprvky.cz	161
Příloha 2: Scénář ke komentovanému videozáznamu „Hoření vodíku“	164
Příloha 3: Zdrojový kód 3D periodické tabulky prvků vytvořený v programu OpenSCAD.	165
Příloha 4: Struktura vyučovací hodiny „Hoření objektivem kamery“ a přepis komentářů vztahujících se k jednotlivým demonstrovaným videozáznamům.	167
Příloha 5: Přepis dotazníku zabývající se motivací žáků – Pre-test.	173
Příloha 6: Přepis dotazníku zabývající se motivací žáků – Post-test.	174
Příloha 7: Přepis pracovního listu používaného při vyučovací hodině „Hoření objektivem kamery“	176
Příloha 8: DVD s digitálním obsahem	177

Příloha 1: Seznam jednotlivých vytvořených videozáznamů se zařazením videozáznamů k jednotlivým PTP, odkazem na umístění videozáznamu na serveru youtube.com a použitými speciálními videotechnikami. Videozáznamy jsou seřazeny podle data zveřejnění na stránkách chemickeprvky.cz

Název videa	Prvky, ke kterým se vztahuje	Odkaz na umístění na serveru youtube.com	Použité speciální videotechniky
Reakce iontů Cu^{2+} s amoniakem – Slow-motion	N, Cu	https://youtu.be/G4jZb89nQVo	slow-motion
Výbuch balonku s vodíkem a kyslíkem – Slow-motion	H, O	https://youtu.be/BhgTCuY7JQ0	slow-motion
Fireball – Slow-motion	C, O, Mg, Al, Cl	https://youtu.be/DBQ7eToO-ak	slow-motion
Výbuch balonku s vodíkem – Slow-motion	H, O	https://youtu.be/tIPK0YqXsc8	slow-motion
Reakce NO_2 s anilinem - hypergolická reakce - Slow-motion	C, N, O	https://youtu.be/ev0KlerrYc	slow-motion
Reakce rtuti s dusičnanem stříbrným – Time-lapse	Hg, Ag	https://youtu.be/jFzwhNJFrM	time-lapse, makro
Dancing fire: hořící kapalný methan - Slow-motion	C	https://youtu.be/g0GcanCrEwo	slow-motion
Reakce NO_2 s anilinem - hypergolická reakce	C, N, O	https://youtu.be/3ohr21Ga5zc	
Reakce mědi s dusičnanem stříbrným - Time-lapse	Cu, Ag	https://youtu.be/hRXTfy2QgJc	time-lapse, makro
Reakce rtuti s dusičnanem stříbrným - Time-lapse	Ag, Hg	https://youtu.be/Q3TmPhTVGwk	time-lapse, makro
Výroba a reakce fosfanu – Slow-motion	P	https://youtu.be/18eJl_tXf9Y	slow-motion
Krystalizace $\text{K}[\text{ICl}_4]$ – Time-lapse	Cl, I	https://youtu.be/tR_qNdFQSZZA	time-lapse
Lihová raketa - Slow-motion	C, O	https://youtu.be/bf1gKwZ0LMM	slow-motion
Krystalizace nerozpustných křemičitanů - Time-lapse	Si, Co, Ni	https://youtu.be/EfeATenKsyc	time-lapse, makro
Kapalný kyslík podporuje hoření - Slow-motion	O	https://youtu.be/emp96cycnGc	slow-motion
Krystalizace nerozpustných křemičitanů - Time-lapse	Si, Co, Ni	https://youtu.be/rPYi3KDOYU0	time-lapse, makro
Reakce manganistanu s koncentrovaným peroxidem vodíku – Slow-motion	H, O, Mn	https://youtu.be/D8wbQ8gJvpU	slow-motion
Vznik a růst křemičitanu nikelnatého - Time-lapse	Si, Ni	https://youtu.be/UsxVfrXRdvw	time-lapse
Kapání rtuti na skleněnou destičku - Slow-motion	Hg	https://youtu.be/_r04BUubP9k	slow-motion
Lití roztaveného olova do studené vody - Slow-motion	Pb	https://youtu.be/ZbFXyQGrIh4	slow-motion
Krystalizace nerozpustných křemičitanů – Time-lapse	Si, Co, Ni, Cu	https://youtu.be/WEXzK7sfXx4	time-lapse
Samovznícení nitrocelulosy - Slow-motion	N	https://youtu.be/W1POA1giakQ	slow-motion
Výbuch kovového sodíku na vodní hladině – Slow-motion	Na	https://youtu.be/QdWTBgeWxbA	slow-motion
Leidenfrostův efekt u vody - Slow-motion	H, O	https://youtu.be/7SJTXBktWwg	slow-motion
Modifikace síry	S	https://youtu.be/NNHvR5yLk-Y	komentované
Radiofarmaka	Tc, Kr, F, Ga, I, In, C, O, N, Tl, Cr	https://youtu.be/nIICtP6uBe8	komentované
Fireball	Cl, Mg, C, O	https://youtu.be/hGNB8WmpTnA	komentované
Hoření vodíku	H, O	https://youtu.be/_q4Hzr0p0Og	komentované
Kyselina peroxosírová (piranhasolution)	S, O	https://youtu.be/ulm7mq7K0Hg	komentované

Název videa	Prvky, ke kterým se vztahuje	Odkaz na umístění na serveru youtube.com	Použité speciální videotechniky
Vlastnosti rtuti	Hg	https://youtu.be/U5sWpESBVhU	komentované
Skupenství dusíku	N	https://youtu.be/pc-hd77Aepg	komentované
Střelný prach	C, N, O, S	https://youtu.be/eXVC3DMVc9Q	komentované
Výroba kyslíku	O	https://youtu.be/syakokVHyaU	komentované
PiranhaSolution - kyselina peroxosírová - Slow-motion	C, O, S	https://youtu.be/EQQN4Q_vjiQ	slow-motion
Hoření methanu - Slow-motion	C, O	https://youtu.be/5iGQv75B3Jc	slow-motion
Katalyzovaná oxidace hliníku - Time-lapse	Al, Hg	https://youtu.be/cQzNWF2LK9s	time-lapse
Explozivní dehydratace <i>p</i> -nitroanilinu - Slow-motion	C, N, S	https://youtu.be/pvBqKEfvlG4	slow-motion
Paprika zmražená v kapalném dusíku - Slow-motion	N	https://youtu.be/SHpztVL47h0	slow-motion
Hoření sypaného střelného prachu - Slow-motion	C, N, S	https://youtu.be/YtispPAOX2w	slow-motion
Plamenová zkouška - bór - Slow-motion	B	https://youtu.be/tnPgs9gnQmc	slow-motion
Hoření nitrocelulosy - Slow-motion	Na	https://youtu.be/yWcJbPIRlsw	slow-motion
Plamenová zkouška - měď - Slow-motion	Cu	https://youtu.be/9zi18ID5qMA	slow-motion
Meissnerův jev	N, O, Cu, Y, Ba	https://youtu.be/5CpxC6V9QUU	macro
Plamenová zkouška - sodík - Slow-motion	Na	https://youtu.be/2zJezdRnZfo	slow-motion
Plamenová zkouška - stroncium - Slow-motion	Sr	https://youtu.be/H2AD1QWRxk8	slow-motion
Ukázka citlivosti směsi KClO ₃ a červeného fosforu - "Thorovo kladivo" - Slow-motion	O, P, Cl	https://youtu.be/E12y6rwDAg	slow-motion
Rapidní krystalizace přesyceného roztoku octanu sodného	C, Na	https://youtu.be/XCSD09CTxZo	
Hoření připraveného střelného prachu – Slow-motion	C, N, S	https://youtu.be/oOSQf5waEfo	slow-motion
Exploze střelného prachu ve zkumavce - Slow-motion	C, N, S	https://youtu.be/PS72fDoYTWU	slow-motion
Škrtnutí zapalovačem - Slow-motion	Ce	https://youtu.be/OQY7yp0uEdw	slow-motion
Plamenová zkouška - lithium - Slow-motion	Li	https://youtu.be/7IDPt9M4fFk	slow-motion
Plamenová zkouška - vápník - Slow-motion	Ca	https://youtu.be/WTksCW8oY8M	slow-motion
Schweizerovo činidlo – Slow-motion	C, N, Cu	https://youtu.be/Ak1bjMiHBNw	slow-motion
Rozbití skla – Slow motion	Si	https://youtu.be/AsGN0aEKmhs	slow-motion
Okurka zmražená v kapalném dusíku – Slow-motion	N	https://youtu.be/J-ITujVNHKs	slow-motion
Krystalizace modré skalice – Time-lapse	S, Cu	https://youtu.be/8WHTy8nVD54	time-lapse
Schweizerovo činidlo - Slow-motion	C, N, Cu	https://youtu.be/wAbjKFQwBUA	slow-motion
Redukce oxidu uhličitého kovovým hořčíkem – Slow-motion	C, O, Mg	https://youtu.be/r9IlgGCmpJYM	slow-motion
Aluminotermie – Slow-motion	O, Al, Fe	https://youtu.be/Sa9qL3MQKRU	slow-motion
Rapidní krystalizace přesyceného roztoku octanu sodného	C, Na	https://youtu.be/lkhRzsEmtyc	macro
Reakce hliníku s bromem	Al, Br	https://youtu.be/U-uIIYi_hM	

Název videa	Prvky, ke kterým se vztahuje	Odkaz na umístění na serveru youtube.com	Použité speciální videotechniky
Reakce sodíku s isopropanolem	H, O, Na	https://youtu.be/Funvu2d34xw	
Rapidní krystalizace přesyceného roztoku octanu sodného	C, Na	https://youtu.be/6iZw_3JtVhI	macro
Rozpouštění sodíku v kapalném amoniaku	Na, N	https://youtu.be/dQxlfSV-s8	macro
Rapidní krystalizace přesyceného roztoku thiosíranu sodného	O, S	https://youtu.be/WS9JqPnNKT4	macro
Reakce sodíku s isopropanolem	H, O, Na	https://youtu.be/Ms8Grn_UpZM	
Dehydratace cukru kyselinou sírovou - Time-lapse	C, O, S	https://youtu.be/W4SfkyA4Dx0	time-lapse
Reakce bromu s hliníkem - Slow-motion	Al, Br	https://youtu.be/cHrTSVy6X8o	slow-motion
Borany	H, B	https://youtu.be/W1CPIXNJJM4	komentované

Příloha 2: Scénář ke komentovanému videozáznamu „Hoření vodíku“

I. VIDEO - REAKCE S KYSLÍKEM (= ČISTÝ VODÍK NEHOŘÍ)

LOKACE: Albertov, CH1

Při mluvení si chemik připravuje “vzducholod”. Vedle sebe už má připraveny ostatní balonky pro pokusy: s palníkem uvnitř a se směsí vodíku a kyslíku.

Vodík je za normálních podmínek bezbarvý plyn bez jakéhokoli zápachu. A je 14,5x lehčí než vzduch. Toho se mimo jiné využívalo při plnění pouťových balonků nebo vzducholodí.

Nevýhoda balonu plného vodíku je, že stačí jediná jiskra a...

POKUS #1: balonek (rukavice s nápisem Hindenburg), palník, odpálit - BUM + prostříhy na hořící Hindenburg

Aby nějaká látka mohla vzplanout, potřebuje reagovat s kyslíkem. Uvnitř balonu, ale žádný kyslík není, pouze čistý vodík. Když se na pokus podíváme zpomaleně, zjistíme, jak reakce doopravdy proběhla:

SLOWNO #1: balonek Hindenburg

První, co se s balonkem stane je, že praskne a vodík se teprve začne mísit vzduchem. Vlastní hoření vodíku nastane, až je směs v dostatečném poměru.

Kdyby elektrická jiskra přeskočila uvnitř balonku, aniž by porušila obal, nic by se nestalo - k hoření by nedošlo.

POKUS #2: balonek plný vodíku, vevnitř palník, palník se odpálí, je vidět jiskra, ale balonek nebouchne

Jak to ale bude vypadat v okamžiku, kdy v balonku bude vodík i dostatečné množství kyslíku?

POKUS #3: balonek naplněný směsí vodíku a kyslíku (vzduchu?) odpálený palníkem = výbuch

SLOWNO #2: vybuchující balonek

Protože byl vodík s kyslíkem už v uzavřeném balonku promíchaný, při odpálení došlo k hoření tak rychle, že vybuchnul. Zvuk tentokrát nebyl způsoben jen prasknutím balonku, ale hlavně samotným výbuchem.

POROVNÁNÍ OBOU VÝBUCHŮ:

Myslím, že bylo na první pohled patrné, že i když byl balonek stejně velký jako ten předchozí, reakce byla daleko rychlejší a bouřlivější. (A to se do balonku vešlo daleko méně vodíku.)

Resume:

Vodík sám o sobě nehoří. Potřebuje dostatečné množství kyslíku a zapálenou sirku :)

Příloha 3: Zdrojový kód 3D periodické tabulky prvků vytvořený v programu OpenSCAD.

```
//promenne
skalovani=.8;
posunz=0;
vyska_pisma=.8;
overlap=0.2;
nadpis="Hustota";
$fn=64;

//moduly
module prvek(skupina,perioda,popis,hodnota){
if(hodnota==0){
    translate([skupina*10,perioda*10,0])cube([10.01,10.01,hodnota*skalovani]);
    translate([skupina*10+5,perioda*10+5,-
overlap])rotate([0,0,90])linear_extrude(height=vyska_pisma)text(popis,size=5,halign="center",valign="center",font="Arial:style=Bold");
}
else{
    translate([skupina*10,perioda*10,0])cube([10.01,10.01,hodnota*skalovani+posunz]);
    translate([skupina*10+5,perioda*10+5,hodnota*skalovani+posunz-
overlap])rotate([0,0,90])linear_extrude(height=vyska_pisma)text(popis,size=5,halign="center",valign="center",font="Arial:style=Bold");}
}

//podlozka
translate([5,5,-2])cube([110,190,2]);
//nadpis
translate([20,80,-
overlap])rotate([0,0,90])linear_extrude(height=vyska_pisma)text(nadpis,size=10,halign="center",valign="center",font="Arial:style=Bold");

//prvky
prvek(1,1,"H",      0.000084    );
prvek(1,18,"He",   0.00017    );
prvek(2,1,"Li",    0.53      );
prvek(2,2,"Be",    1.85      );
prvek(2,13,"B",    2.46      );
prvek(2,14,"C",    3.51      );
prvek(2,15,"N",    0.00117   );
prvek(2,16,"O",    0.00133   );
prvek(2,17,"F",    0.00158   );
prvek(2,18,"Ne",   0.00084   );
prvek(3,1,"Na",    0.97      );
prvek(3,2,"Mg",    1.74      );
prvek(3,13,"Al",   2.7       );
prvek(3,14,"Si",   2.33      );
prvek(3,15,"P",    1.82      );
prvek(3,16,"S",    2.06      );
prvek(3,17,"Cl",   0.00295   );
prvek(3,18,"Ar",   0.00166   );
prvek(4,1,"K",     0.86      );
prvek(4,2,"Ca",    1.54      );
prvek(4,3,"Sc",    2.99      );
prvek(4,4,"Ti",    4.51      );
prvek(4,5,"V",     6.09      );
prvek(4,6,"Cr",    7.14      );
prvek(4,7,"Mn",    7.44      );
prvek(4,8,"Fe",    7.87      );
prvek(4,9,"Co",    8.89      );
prvek(4,10,"Ni",   8.91      );
prvek(4,11,"Cu",   8.92      );
prvek(4,12,"Zn",   7.14      );
prvek(4,13,"Ga",   5.91      );
prvek(4,14,"Ge",   5.32      );
prvek(4,15,"As",   5.72      );
prvek(4,16,"Se",   4.82      );
prvek(4,17,"Br",   3.14      );
prvek(4,18,"Kr",   0.00348   );
prvek(5,1,"Rb",    1.53      );
prvek(5,2,"Sr",    2.63      );
prvek(5,3,"Y",     4.47      );
prvek(5,4,"Zr",    6.51      );
prvek(5,5,"Nb",    8.58      );
prvek(5,6,"Mo",    10.28     );
prvek(5,7,"Tc",    11.49     );
prvek(5,8,"Ru",    12.45     );
prvek(5,9,"Rh",    12.41     );
prvek(5,10,"Pd",   12.02     );
```

```

prvek(5,11,"Ag", 10.49 );
prvek(5,12,"Cd", 8.64 );
prvek(5,13,"In", 7.31 );
prvek(5,14,"Sn", 7.29 );
prvek(5,15,"Sb", 6.69 );
prvek(5,16,"Te", 6.25 );
prvek(5,17,"I", 4.94 );
prvek(5,18,"Xe", 0.00449);
prvek(6,1,"Cs", 1.9 );
prvek(6,2,"Ba", 3.65 );
prvek(6,3,"La", 6.16 );
prvek(9,3,"Ce", 6.77 );
prvek(9,4,"Pr", 6.48 );
prvek(9,5,"Nd", 7 );
prvek(9,6,"Pm", 7.22 );
prvek(9,7,"Sm", 7.54 );
prvek(9,8,"Eu", 5.25 );
prvek(9,9,"Gd", 7.89 );
prvek(9,10,"Tb", 8.25 );
prvek(9,11,"Dy", 8.56 );
prvek(9,12,"Ho", 8.78 );
prvek(9,13,"Er", 9.05 );
prvek(9,14,"Tm", 9.32 );
prvek(9,15,"Yb", 6.97 );
prvek(9,16,"Lu", 9.84 );
prvek(6,4,"Hf", 13.31 );
prvek(6,5,"Ta", 16.68 );
prvek(6,6,"W", 19.26 );
prvek(6,7,"Re", 21.03 );
prvek(6,8,"Os", 22.61 );
prvek(6,9,"Ir", 22.65 );
prvek(6,10,"Pt", 21.45 );
prvek(6,11,"Au", 19.32 );
prvek(6,12,"Hg", 13.55 );
prvek(6,13,"Tl", 11.85 );
prvek(6,14,"Pb", 11.34 );
prvek(6,15,"Bi", 9.8 );
prvek(6,16,"Po", 9.2 );
prvek(6,17,"At", 0 );
prvek(6,18,"Rn", 0.00923);
prvek(7,1,"Fr", 0 );
prvek(7,2,"Ra", 5.5 );
prvek(7,3,"Ac", 10.07 );
prvek(10,3,"Th", 11.72 );
prvek(10,4,"Pa", 15.37 );
prvek(10,5,"U", 18.97 );
prvek(10,6,"Np", 20.48 );
prvek(10,7,"Pu", 19.74 );
prvek(10,8,"Am", 13.67 );
prvek(10,9,"Cm", 13.51 );
prvek(10,10,"Bk", 13.25 );
prvek(10,11,"Cf", 15.1 );
prvek(10,12,"Es", 0 );
prvek(10,13,"Fm", 0 );
prvek(10,14,"Md", 0 );
prvek(10,15,"No", 0 );
prvek(10,16,"Lr", 0 );
prvek(7,4,"Rf", 0 );
prvek(7,5,"Db", 0 );
prvek(7,6,"Sg", 0 );
prvek(7,7,"Bh", 0 );
prvek(7,8,"Hs", 0 );
prvek(7,9,"Mt", 0 );
prvek(7,10,"Ds", 0 );
prvek(7,11,"Rg", 0 );
prvek(7,12,"Cn", 0 );
prvek(7,14,"Fl", 0 );
prvek(7,16,"Lv", 0 );

```

```
//podpis
```

```

translate([25,15,-1.7]) rotate([0,180,180]) linear_extrude(height=1) text("Lume(c)
2016",size=3,halign="center",valign="center",font="Arial:style=Regular");

```

Příloha 4: Struktura vyučovací hodiny „Hoření objektivem kamery“ a přepis komentářů vztahujících se k jednotlivým demonstrováním videozáznamům.

Začátek hodiny: Uvítání, vysvětlení jakým způsobem budou zadávány dotazníky – nejdříve pre-test, pak bude následovat série krátkých videí na téma hoření. Během tohoto bloku bude čas na vyplňování pracovních listů. Na konci bude zadán poslední dotazník – post-test.

Dnešní poměrně netradiční hodina by se dala nazvat „Hoření objektivem kamery“ a má za úkol vás pomocí série krátkých videí podobných večerníčku seznámit fenoménem hoření a chemickými principy, na kterých je založeno.

Pokud bychom hledali nějakou definici hoření, dospěli bychom k tomu, že hoření je redoxní exotermická reakce, při které se uvolňuje světlo. Více o hoření se dozvíte v následujícím videozáznamu.

VIDEOZÁZNAM HOŘENÍ VODÍKU (komentovaný videozáznam vysvětlující principy hoření vodíku; kdy samotný vodík je nereaktivní, po smíchání se vzduchem je ale zápalný, nebo dokonce výbušný).

Není tak úplně pravda, že by úplně vždy bylo nutné hoření iniciovat pomocí jiskry nebo jiného podnětu. Existuje nemálo látek, které se označují jako látky samozápalné.

VIDEOZÁZNAM PŘÍPRAVA A REAKCE FOSFANU (slow-motion videozáznam). Zde na videu vidíte akvárium s vodou, do kterého padá kousek fosfidu vápenatého. Ten reaguje s vodou za vzniku plynného fosfanu. Tento plyn vyplouvá ve formě bublinek na hladinu, kde se kumuluje ve velkých bublinách. Jakmile bublina praskne, dojde ke smísení fosfanu z bubliny se vzduchem a to se projeví vznikem plamenu. Nad plamenem se pak objeví obláček bílého dýmu, tento dým je tvořen oxidem fosforečným, který je produktem hoření fosfanu s kyslíkem. Fosfan je plyn, který je zodpovědný za pohádky o bludičkách tančících v bažinách, neboť může vznikat při rozkladných procesech a za vhodných podmínek pak vytváří plamínky. Sám o sobě se ale fosfan nijak nerozkládá, hořet začíná až v okamžiku jeho smísení se vzduchem.

VIDEOZÁZNAM REAKCE NO₂ S ANILINEM (skutečná rychlost). Kromě látek, které jsou samozápalné, se používají také směsi látek, které po smíchání vzplanou. Příkladem může být raketové palivo používané pro manévrování ve vesmíru. Když potřebujete vystřelit raketu ze země na měsíc, tak je to jednoduché. Na zemi postavíte raketoplán na odpalovací

rampu, spustíte motory, a ty chytanou od jisker, které pod raketou vyrábí speciální stroj. Pokud ale chcete odstartovat z měsíce, nebo jen manévrovat ve vesmíru, potřebujete mít takový raketový motor, které není potřeba z venku zapalovat (to byste pak museli nechat na měsíci jednoho kosmonauta, ale ono by mu stejně nešlo ten raketový motor zapálit, protože na měsíci není žádný kyslík, ani vzduch). Proto se používá speciální směs, která se označuje jako hypergolická. Jedná se o směs oxidu dusičitého a raketového paliva, která je samozápalná, raketový motor se tedy zapálí sám, aniž by bylo potřeba nějaké jiskry.

Jak to funguje je pěkně vidět na tomto videozáznamu, kde na dně zkumavky je zkapalněný oxid dusičitý a injekční stříkačkou je k němu přilita organická látka – anilin. Jakmile se tyto dvě látky smísí tak ihned ze směsi vyšlehně plamen.

VIDEOZÁZNAM REAKCE NO₂ S ANILINEM (slow-motion videozáznam). Tato reakce se dá klasifikovat jako hoření, neboť dokonale splňuje definici hoření – jedná se o redoxní exotermickou reakci doprovázenou světlem. Vznikající plameny jsou pěkně viditelné na zpomaleném záběru. Zkumavka na záznamu tedy funguje jako malý primitivní raketový motorek, který nepotřebuje zážeh.

VIDEOZÁZNAM STŘELNÝ PRACH (komentovaný videozáznam vysvětlující historii a složení střelného prachu a mechanismus jeho hoření).

V tomto videu Mates vysvětloval, jak důležitý je kyslík pro průběh hoření a to nejen ve formě plynu, ale i ve formě oksylichovadel. S tímto tvrzením ale musím s Matesem nesouhlasit, neboť hoření může probíhat i v prostředí, kde žádný kyslík není, můžeme ho nahradit jiným materiálem – plynem – který bude mít podobné vlastnosti. Na kyslíku je důležité to, že se jedná o silné oxidační činidlo, tedy, že ochotně přijímá elektrony a oxiduje jiné látky. Mezi plyny, které mají podobné vlastnosti, bychom mohli ředit třeba fluor, chlor nebo brom. Pokud bychom s naší raketou přistáli na planetě, která by místo kyslíkové atmosféry měla atmosféru tvořenou chlorem, tak bychom si mohli udělat i táborák. Akorát, že hořením dřeva by nám nevznikal oxid uhličitý a voda, ale chlorid uhličitý a chlorovodík. Abych toto svoje tvrzení dokázal, ukážu vám následující videozáznam.

VIDEOZÁZNAM HLINÍKU S BROMEM (skutečná rychlost). Zde vidíte zkumavku, ve které je na dně trocha elementárního bromu, lesklá věc uvnitř zkumavky je kulička z

alobalu. Jak je vidět, tak po chvílce dojde k tomu, že se hliník rozžhaví, roztaví, začne skákat po hladině bromu ve zkumavce a shoří.

VIDEOZÁZNAM HLINÍKU S BROMEM (slow-motion videozáznam). Ještě lépe je to vidět na zpomaleném záznamu reakce. Kromě toho je zde vidět bílý dým, což jsou produkty této reakce. Pokud bychom nechali hořet hliník na vzduchu, jednalo by se o oxid hlinitý, protože ale ve zkumavce je bromová atmosféra, jedná se o bromid hlinitý. Opět tato reakce dobře splňuje všechny podmínky pro to, abychom jí mohli označit za hoření – dochází tam k redoxnímu ději, reakce je exotermní a produkuje se při ní světlo.

Asi nejzřetelnějším projevem hoření je plamen. Pokud ale porovnáte plameny, které vznikají hořením různých látek, zjistíte, že se od sebe můžou dramaticky lišit.

VIDEOZÁZNAM FIREBALL (slow-motion videozáznam). Pokud bude hořet nějaká organická látka jako je třeba benzín, dřevo, svíčka, nebo kahan na zemní plyn, tak bude mít plamen žlutou až žlutooranžovou barvu. Tuto barvu způsobují saze, které vznikají uvnitř plamenu během hoření. Princip je stejný jako u žárovky, kde světlo vytváří wolframové vlákno zahřáté pomocí elektrického proudu na vysokou teplotu. Obecně platí, že jakýkoli materiál ohřátý na vysokou teplotu produkuje žluté až žluto-oranžové světlo a stejně tak jsou na tom kousičky uhlíku, uvnitř plamene, které zahřívá teplo uvolněné při hoření. Na videozáznamu vidíte pokus okopírovaný ze seriálu Kobra 11, kde náraz auta do zdi musí končit efektním ohnivým hříbem. Jen jsme při natáčení neměli dost financí na demolici aut. Při pokusu je nádoba s benzínem umístěna nad náložku, která po výbuchu rozpráší benzín do vzduchu, kde chytne a vytvoří ohnivý hříb. Na záznamu je pěkně vidět, jak se postupně mění barva ohnivého hříbu, kdy na začátku je žlutá a postupně tmavne. To souvisí s tím, že pro hoření je potřeba přístup kyslíku. Brzo po začátku pokusu se veškerý kyslík z okolí vyčerpá a nový nemá čas se k ohnivému hříbu dostat. Proto reakce pomalu ustává, teplota sazí se snižuje, až místo ohnivého hříbu zůstane jen oblak nespálených sazí.

Trochu jiný případ je v případě, že vezmeme hořlavinu, která při svém hoření saze neprodukuje, a její plamen je tedy bezbarvý. Pokud k této hořlavině přidáme různé anorganické sloučeniny, můžeme zjistit, že i ty mohou měnit barvu plamene. Typickými prvky, které mění barvu plamene, jsou sloučeniny alkalických kovů a kovů alkalických zemin

VIDEOZÁZNAM PLAMENOVÁ ZKOUŠKA SODÍK (slow-motion). Na tomto videozáznamu je v rozprašovači na kytky nalitý roztok chloridu sodného v methanolu. Když tento roztok rozprášíme do prostoru a zapálíme, objeví se malá ohnivá koule. Tato koule má žluto-oranžovou barvu, ale tentokrát tato barva není způsobená vznikajícími horkými sazemi, ale přímo sodnými ionty.

VIDEOZÁZNAM PLAMENOVÁ ZKOUŠKA LITHIUM (slow-motion). Dalším alkalickým kovem, který pěkně barví plamen je lithium. Pokus je proveden ve stejném uspořádání, ohnivá koule má díky lithným iontům karmínově červenou barvu.

VIDEOZÁZNAM PLAMENOVÁ ZKOUŠKA VÁPŇÍK (slow-motion). Pokud byste hledali v odborné literatuře informace o vápníku, dočtete se, že vápník má mít v plameni cihlově červenou barvu. Nevím, jestli autoři někdy viděli, jak vypadá cihla a zároveň jak vypadá plamen obarvený vápníkem. Barvu ale posuďte sami.

VIDEOZÁZNAM PLAMENOVÁ ZKOUŠKA STRONCIUM (slow-motion). Na tomto záznamu vidíte, jak barví plamen strontnaté ionty. Tento způsob barvení plamene se běžně využívá při výrobě zábavní pyrotechniky. Různé pyrotechnické směsi v sobě obsahují ionty těchto kovů a díky tomu mohou na obloze vykreslovat různobarevné obrazce.

VIDEOZÁZNAM PLAMENOVÁ ZKOUŠKA BOR (slow-motion). Alkalické kovy nejsou jedinými prvky v periodické tabulce, které mají schopnost barvit plamen. Jako zástupce p-prvků zde máme bor. Na videozáznamu si také můžete všimnout toho, že nedochází ke stejnoměrnému hoření v celém objemu koule, k hoření může docházet pouze tam, kde je palivo (methanol) smíšen v dostatečném poměru s kyslíkem, k hoření tedy dochází vždy jen na krajích ohnivé koule.

VIDEOZÁZNAM PLAMENOVÁ ZKOUŠKA MĚĎ (slow-motion). Na závěr jsem si nechal prvek, který barví plamen podle mého názoru nejlépe a to je měď.

Podle mého dosavadního povídání by to mohlo vypadat, že veškeré chemické reakce, ve kterých vystupuje kyslík, jako jeden z reaktantů, musí nutně být nějaké hoření doprovázeno nejlépe metrovými barevnými plameny a ohnivými hříby. Ale není tomu tak. Běžnou reakcí s kyslíkem je na příklad koroze kovů. Pokud zapomenete přes noc venku nějakou železnou věc (například pluh), tak dojde k tomu, že se do rána pokryje vrstvičkou rzi, aniž by byly pozorovatelné jakékoli světelné efekty.

VIDEOZÁZNAM PLAMENOVÁ KATALYZOVANÁ OXIDACE HLINÍKU (time-lapse). Naopak, pokud venku přes noc zapomenete nějakou věc vyrobenou z hliníku, nic se s ní nestane. Což je z chemického pohledu docela zvláštní, protože pokud porovnáme reaktivnost a ušlechtilost železa a hliníku, vychází, že hliník je daleko více reaktivní (a zároveň méně ušlechtilý). Hliník by se tedy měl na vzduchu rozpadnout na prach ještě dříve než železo. To že je hliník odolný vůči korozi je způsobeno tím, že na rozdíl od oxidu železitého je oxid hlinitý, který při korozi hliníku vzniká kompaktní. Hliník se tedy obalí tenkou nepropustnou vrstvičkou oxidu hlinitého, která ho ochrání před další oxidací. Když toto vrstvičku porušíme a nějakým způsobem zabráníme jejímu vzniku, začne se nám hliník doslova před očima rozpadat na šedivý prášek. Materiálem, který dokáže takto narušit hliník je kovová rtuť nebo gallium.

Pokud se tedy chcete pomstít sousedovi, který zaparkoval na vašem oblíbeném parkovacím místě se svým novým Porsche s litými hliníkovými koly, tak si sežeňte trochu rtuti a naneste mu jí na kola. Ráno pak soused nenajde své nové Porsche stojící na krásných litých hliníkových kolech, ale najde své nové Porsche ležící na hromádkách šedivého prášku. Tato rozkladná reakce je pěkně vidět na videozáznamu. Z počátku je vidět, jak se „nákaza“ šíří, následně začnou z hliníkového bloku odpadávat kousky oxidu hlinitého. Tato reakce běží pomalu, záznam byl proto mnohokrát zrychlen.

Se rtutí a její reakcí s hliníkem je spojeno to, že pokud letíte letadlem, tak si s sebou nesmíte na palubu brát kovovou rtuť. Pokud by za letu došlo k rozbití lahvičky, rtuť by mohla zatéct někde do konstrukce letadla a místo toho, abyste bezpečně přistáli na letišti, byste mohli přistát někde uprostřed moře poté, co by letadlu odrezly třeba křídla.

VIDEOZÁZNAM KYSELINA PEROXOSÍROVÁ – PIRANHA SOLUTION (komentovaný videozáznam). Nyní se dostáváme k poslední reakci, kterou tu pro vás mám připravenou, v rámci bloku o hoření. Jedná se o vlastnosti a reakce kyseliny peroxosírové. Tyto reakce mají na první pohled mnoho společného s hořením, například produkty, ale o hoření se nejedná, neboť při reakci nedochází ke vzniku světla ani plamene.

VIDEOZÁZNAM PIRANHA SOLUTION H_2SO_5 (slow-motion). Kyselina peroxosírová je známý Cimrmanům chemický vtíp H_2SO_5 , kterému se ale nikdo z chemiků nesměje, protože tuto látku používají na mytí nádobí. Zde vidíte zpomalený záběr, jak probíhá rozklad papíru pomocí kyseliny peroxosírové. Je zde zřetelně vidět, že papír začne mizet ihned

poté, co se nasákne kyselinou peroxosírovou. Stejně tak je zde patrné, že se nejedná o hoření, protože nedochází ke vzniku plamene.

Příloha 5: Přepis dotazníku zabývající se motivací žáků – Pre-test.

MOTIVAČNÍ PRE-TEST (ČESKÁ VERZE)

Datum: Škola:
 Jméno a příjmení: Věk: Pohlaví Muž Žena

U každého z následujících tvrzení vyjádřete svůj souhlas. Zatrhněte, do jaké míry je tvrzení pro vás pravdivé či nepravdivé.
 1 = jasný nesouhlas, 7 = naprostý souhlas

1	Nevadí mi, když učivo prezentované v následující hodině pomocí videí bude pro mě obtížnější, hlavně když se naučím co nejvíc.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
2	V hodinách chemie chápu základní principy, které se učíme.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
3	Pro mě je teď nejdůležitější zlepšit průměr známek, pokud se v této hodině naučím něco, abych toho dosáhl/a, nebude to pro mě ztracený čas.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
4	Když se budu učit správným způsobem, v následující hodině pochopím dané téma.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
5	Pokud to půjde, budu se snažit v této hodině získat více znalostí než ostatní spolužáci.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
6	V hodinách upřednostňuji takový výukový obsah a takové materiály, které jsou pro mne výzvou, takže se pak naučím nové věci.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
7	Pokud nepochopím výukový obsah prezentovaný v této hodině, tak jsem se málo snažil/a.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
8	Jsem si jistý/á, že v dnešní hodině získám takové znalosti, že v testech pak budu mít vynikající výsledky.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
9	V hodinách jako je tato mám rád/a témata a materiály, které vzbuzují mou pozornost a nevadí, že jsou náročná na pochopení.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
10	Nejlepší věc v této hodině by bylo se naučit se vše tak, že pak získám dobrou známku.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
11	Když vezmu v úvahu vyšší náročnost této hodiny a prezentovaného učiva, učitele a mých schopností, myslím, že se naučím hodně nového a užitečného.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
12	Pokud se v této hodině nenaučím dané téma, je to má vlastní chyba.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
13	Jsem přesvědčený/á, že zvládnou pochopit i ta nejtěžší témata, která se v hodinách chemie učíme.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
14	Nejvíce mě na této hodině potěší to, že budu mít příležitost snažit se pochopit představované téma.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
15	Když se budu hodně snažit, pochopím dobře učivo, které se máme naučit v této hodině.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
16	Chci mít v této hodině možnost naučit se co nejvíce, protože je pro mne důležité, abych rodičům, kamarádům a ostatním ukázal/a, co umím.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas

Příloha 6: Přepis dotazníku zabývajících se motivací žáků – Post-test.

MOTIVAČNÍ POST-TEST (ČESKÁ VERZE)

Datum: Škola:

Jméno a příjmení: Věk: Pohlaví: Muž Žena

U každého z následujících tvrzení vyjádřete svůj souhlas. Zatrhnete, do jaké míry je tvrzení pro vás pravdivé či nepravdivé. 1 = jasný nesouhlas, 7 = naprostý souhlas

1	Myslím, že prezentovaná hodina byla velmi zábavná.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
2	Během hodiny jsem se hodně snažil/a, abych vyučované téma pochopil/a.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
3	Myslím si, že v porovnání s ostatními studenty jsem se naučil/a více.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
4	Myslím si, že využití videí přispělo k tomu, že jsem dané téma pochopil/a lépe.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
5	Jsem se sebou spokojený/á, jak jsem dnes vše zvládl/a a vše pochopil/a.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
6	Myslím, že dnešní hodina pro mě měla veliký přínos, zejména díky použití videí.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
7	Hodina byla zábavná, více takových hodin.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
8	Abych učivo hodiny pochopil/a, musel/a jsem investovat hodně úsilí.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
9	Myslím, že obsah hodiny byl velmi užitečný pro pochopení základních chemických principů a využití videí bylo v tomto ohledu přínosem.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
10	Musím říci, že takovéto hodiny jsou pro mě zábavné.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
11	Jsem se sebou spokojený/á, protože jsem vše v rámci hodiny pochopil/a.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
12	Bylo pro mě důležité zvládnout obsah hodiny.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
13	Byl/a bych rád/a, kdybychom ještě někdy měli podobnou hodinu, protože to pro mě bylo velmi přínosné díky použitým technologiím.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
14	Obsah hodiny byl pro mne velmi zajímavý.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
15	Moc jsem se snažil/a vše pochopit, abych byl/a úspěšný/á a mohl/a si např. vylepšit známku.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
16	I když nebylo moc času, myslím, že jsem vše pochopil/a a mám pocit, že probrané látce rozumím.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas

17	Myslím si, že využívání videí ve výuce chemie je zbytečné.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
18	Myslím si, že zrychlená videa chemických reakcí natočená metodou časosběr (time-lapse) pomáhají názornosti a pochopitelnosti.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
19	Myslím si, že zpomalená videa chemických reakcí natočená metodou slow-motion pomáhají názornosti a pochopitelnosti.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
20	Myslím si, že komentovaná videa popisující chemické reakce pomáhají k lepšímu pochopení.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
21	Myslím si, že videa chemických reakcí obecně nevedou k lepšímu pochopení skutečnosti.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
22	Myslím si, že použití videa (slow-motion, timelapse, makro, ...) je jen móda, která rychle zastará.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
23	Vědomosti, které jsem během této hodiny získal/a, využiji i v jiných hodinách.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
24	Prezentovaná videa bych použil/a pro získání vědomostí i doma.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas
25	Vědomosti, které jsem během této hodiny získal/a, využiji i v jiných hodinách.	1 jasný nesouhlas	2	3	4	5	6	7 naprostý souhlas

26 Která témata byla obsahem této hodiny?

27 Které poznatky jste si odnesli z této hodiny? (Konkrétně)

28 Které části hodiny se vám líbily nejvíce? Proč?

29 Které části hodiny se vám zdály nejtěžší? Proč?

30 Znáte nějaké autory videí zabývající se chemickými tématy?

31 Napište prosím vaše návrhy, které by mohly vylepšit realizovanou aktivitu. Váš názor je pro nás velmi důležitý.

32 Celkově jsem byl naprosto spokojen.

1
jasný
nesouhlas

2

3

4

5

6

7
naprostý
souhlas

Příloha 7: Přepis pracovního listu používaného při vyučovací hodině „Hoření objektivem kamery“

Jméno a příjmení:

Datum:

Třída:

1. Proč byly vzducholodě jako je Hindenburg nebezpečné?
2. Co všechno je potřeba k tomu, aby mohlo proběhnout hoření?
3. Proč nemůžeme zažehnout běžný raketový motor ve vesmíru?
4. Kdo vynalezl střelný prach?
5. Dokáže střelný prach hořet i pod vodou?
6. Jakou barvu plamene mají následující prvky?

Li	B
Cu	Sr
Na	
7. Co způsobuje barvu plamene svíčky?
8. Proč se hliník nerozpadne na prach, když je neušlechtilým kovem?
9. Je k hoření nezbytně důležitý kyslík?

Příloha 8: DVD s digitálním obsahem

DVD obsahuje následující obsah:

1. Vytvořené videozáznamy chemických reakcí.
2. Popisy jednotlivých videozáznamů.
3. Digitalizovaná data získaná dotazníkovým šetřením.
4. Vytvořené digitální modely učebních pomůcek ve formátu *.stl.