

# **Kartotéka školních chemických pokusů**

**- rozpracování diplomové práce**

**Mgr. Petr Novotný**

**vedoucí práce: Doc. RNDr. Jiří Banýr CSc.**

Práce obsahuje jako přílohu A původní diplomovou práci, která byla rozšiřována

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s využitím citovaných pramenů.

Mgr. Petr Novotný

Praha 20. prosince 2005

...

# Obsah

Úvod.....	4
Analýza stávající formy kartotéky.....	5
Statické HTML soubory - nedostatky:.....	5
Vytyčené požadavky na novou formu Kartotéky školních chemických pokusů.....	7
Kartotéka musí být:.....	7
Realizace.....	8
Relační struktura báze dat.....	8
Převod dat.....	10
Zpracování platné legislativy.....	11
Legislativní aspekt.....	12
Doplňkové skripty.....	13
Vytvořené skripty.....	13
Zhodnocení výsledků práce, závěr.....	15
Závěr.....	16
Použitá literatura:.....	17
Příloha A - původní diplomová práce.....	18

## Úvod

Práce předkládaná k rigoróznímu řízení navazuje na mou diplomovou práci - "*Kartotéka školních chemických pokusů – téma katalyzátory*", obhájenou v červnu roku 2004 ve studijním oboru učitelství chemie a biologie pro II. stupeň základních škol a střední školy, Pedagogická fakulta Univerzity Karlovy v Praze.

Z fakulty jsem si do svého současného zaměstnání – učitel chemie a přírodopisu na ZŠ odnesl chuť pokračovat v započaté práci a rozvinout kartotéku do kvality, která by se dala označit jako profesionální. Chemické pokusnictví považuji za pilíř kvalitní výuky chemie, má obrovský motivační prvek a zároveň výjimečně efektivně působí na rozvoj logického a tvořivého myšlení žáku (! natož učitele). Jakožto začínající učitel až příliš dobře cítím nedostatek času, který máme k dispozici mezi jednotlivými hodinami, a hledám cesty, jež mohou pomoci pracovat nanejvýše efektivně a navíc s jistou elegancí. Kontakt se školní realitou mi pomohl najít realističtější pohled na můj cíl, zároveň mi poskytl nepřehledné množství impulzů k další práci, během uplynulého roku jsem také načerpal řadu nových znalostí a dovedností z oblasti programování.

Jako výsledek mého zájmu o výuku chemie a tvorbu na Internetu předkládám kvalitativně novou formu kartotéky chemických pokusů, která by mohla představovat skutečného pomocníka pro školní praxi; kartotéka je veřejně přístupná na internetové adrese <http://www.didaktis.net>

Chci opravdu upřímně poděkovat všem, kteří mi pomohli radou, osobním příkladem nebo večeří, zejména však vedení ZŠ Sázavská za vytvoření optimistického a motivujícího pracovního prostředí.

## **Analýza stávající formy kartotéky**

V diplomové práci jsem zpracoval kolekci pokusů, dokumentující katalýzu a účinky katalyzátorů jako faktoru ovlivňujícího průběh chemických reakcí; snažil jsem se shromáždit a posoudit co největší množství publikovaných pokusů, vybrané pokusy jsem provedl, fotograficky a textově dokumentoval; nebo-li jsem se soustředil na problematiku speciální didaktiky chemie.

Forma **prezentace** získaných dat významnou měrou ovlivňuje využitelnost práce a já jsem si již v době odevzdání mé práce byl vědom, že zvolená forma přináší kromě kladů i nezanedbatelné zápory; ale přeci jen nebylo cílem práce vytvořit nějaký obecný rámec pro soubor nejrozličnějších chemických pokusů, nýbrž zpracovat vymezenou oblast. Vytvořil jsem tedy jednoduchý CD disk, který obsahoval zpracované pokusy jako jednotlivé HTML soubory, na které bylo možno přistupovat pomocí odkazů v jednoduchém rejstříku. Nabízelo se samozřejmě zveřejnit tento soubor prostřednictvím sítě, neměl jsem ale chuť připojit se k hejnu jednorázově vzniklých a již nikdy neaktualizovaných „stránek plných pokusů“.

Začal jsem tedy zvažovat možné obecné řešení pro soubor školních chemických pokusů s podmínkou absolutní praktičnosti a racionality. Prvním krokem byla analýza nedostatků současného řešení:

### **Statické HTML soubory - nedostatky:**

1. aktualizace a rozšiřitelnost – jakákoli oprava vyžaduje zásah do zdrojového kódu stránky, což není ani vhodné ani pohodlné; rozmanitost chemických pokusů jen obtížně dovoluje vytvořit takovou strukturu dokumentu, aby se při rozšiřování zachovala jednotná grafická a věcná kostra
2. roztržitost a atomizace záznamů – při jakékoli změně je nutné provést úpravy ve všech souborech; vyhledání výskytu dané sloučeniny představuje obrovské úsilí a přitom bez záruky, že nebude některý případ opomenut či že se nebude muset proces za pár měsíců opakovat...

Změny mohou být charakteru např. názvoslovného – to ale není vzhledem k zaměření kartotéky jako učitelské pomůcky závažnější problém. Daleko významnější

jsou legislativní změny v klasifikaci daných chemických látek a přípravků, které je zapotřebí včas do kartotéky zapracovávat.

3. pokud má být kartotéka skutečně živou aplikací, musí mít uživatelé možnost komentovat pokusy, sdělovat si vzájemně zkušenosti a možné varianty provedení, což tato forma vylučuje

Souhrn – použité řešení vyniká strnulostí a neúměrnou námahou při jeho správě.

## Vytyčené požadavky na novou formu Kartotéky školních chemických pokusů

Na základě zkušeností s původní kartotékou, střetnutí se školní praxí a jinými jsem vytyčil 7 základních bodů, které musí aplikace splňovat, aby znamenala nejenom přínos a usnadnění práci učitele, ale aby také cílovou skupinu (učitelé chemie na II. a III. stupni) zaujala a vzbudila zájem o její využívání, neboť to je předpokladem její nadějně budoucnosti.

### Kartotéka musí být:

1. Veřejně přístupná přes síť Internet, na snadno zapamatovatelné adrese, s přehledným, věcným designem bez agresivních prvků, zcela podřízeným prvotnímu účelu – podpoře výuky chemie
2. Zaměřená na učitele chemie, bez aspirací stát se rozcestníkem, všezahrnujícím portálem apod.; svou povahou, obsahem a provedením originální bez obsahových duplicit dostupných z jiných informačních zdrojů
3. Dynamická, s možností snadným způsobem pokusy měnit, komentovat, rozšiřovat, třídit podle různých hledisek
4. Internetovou aplikací v plném slova smyslu, musí využívat systém registrovaných uživatelů z důvodů
  1. odpovědnosti za vložená data a ochranu proti vandalismu
  2. personalizace kartotéky – osobní nastavení některých parametrů
  3. pochopitelně také marketingových
5. V souladu s platnou legislativou a to jednoznačným, jednoduchým způsobem – **tato látka v dané koncentraci smí být žáky používána | tato látka nesmí.**
6. Alespoň částečně vícejazyčná
7. Doplněná zajímavými funkcemi využitelnými ve škole – tvorba etiket na obaly chemických látek, formulář na evidenci toxických látek, generátor testů atd.

## Realizace

Jakožto neodborník v oblasti programování nemohu k dosažení vymezeného cíle volit prostředky optimální, nýbrž pouze dostupné - tedy ty, které ovládám. Je jisté, že mnohé mé programové konstrukce by se v díle profesionála neobjevily, věřím však, že tyto neobratnosti vyváží skutečná znalost požadavků kladených na výsledný program.

Stroze vyjádřeno, je kartotéka realizována jako relační databázová aplikace na systému PHP | MySQL. Jedná se o volně šiřitelnou a všeobecně rozšířenou sestavu, která je určena pro aplikace v síti Internet. Data a programové vybavení jsou umístěny na vzdáleném serveru, uživatel (klient) k němu přistupuje přes protokol HTTP pomocí internetového prohlížeče.

Uživatel získává klasický HTML soubor podstatou obdobný souborům kartotéky diplomové práce, ten je však serverem pokaždé znovu vytvořen na základě dat uložených v databázi MySQL a zpracovaný uloženými skripty. Za těchto podmínek zůstává zachovaná rychlá orientace pro nového uživatele v aplikaci, neboť pro prezentaci dat je využíváno prvků běžných v síti Internet a zároveň tento systém představuje zásadní zjednodušení jakýchkoli úprav a rozšiřování.

Celá aplikace je umístěna na doméně <http://www.didaktis.net>, umístěné na placeném hostingu PIPNI s.r.o., který zajišťuje velmi kvalitní a spolehlivý chod.

### Relační struktura báze dat

Všechna data jsou uložena ve formě tabulek, některé tabulky vyjadřují vztahy – relace mezi daty uloženými v ostatních tabulkách. Strukturu báze dat přibližují tři příklady:

- a) Předpokládejme že v databázi existuje tabulka *prvky*, tato tabulka má 4 sloupce -

tabulka prvky			
chemická značka	český název	latinský název	anglický název
Pb	olovo	Plumbum	lead
...	...	...	...

Jedním z doplňkových skriptů kartotéky představuje on-line generátor testů, je asi zřejmé, že pro zobrazení různé jazykové verze není nutné mít informaci o chemické značce olova a skript vytvářející test dvakrát až n-krát, neboť stačí (na základě uživatelské předvolby jazyka) vybírat příslušné sloupce tabulky...



b) Řada pokusů se výborně hodí k více úsekům, do nichž je rozčleněno učivo chemie a je proto klasický problém uspořádání kartotéky, jak zajistit výskyt téhož pokusu ve více obsahových skupinách (zde kategoriích) a přitom připustit pouze jednu unikátní existenci daného pokusu (vyloučení datových multiplicit je základem funkčního modelu báze dat).

tabulka pokusy	
číslo pokusu	název pokusu
1	Oxidace jodu...
2	Rozklad peroxidu...
...	...

tabulka kategorie	
číslo kategorie	název kategorie
1	Homogenní katalýza
2	Reakce peroxidu vodíku
...	...

relační tabulka rel_kategorie	
číslo pokusu	číslo kategorie
1	1
1	2
...	...

Vezměme tabulku *pokusy*, *kategorie* a *rel\_kategorie* – tabulka *pokusy* a *kategorie* obsahují číselné identifikátory každé své položky, tabulka *rel\_kategorie* uchovává informaci o vztahu mezi dvěma předchozími tabulkami i tj. vyjadřuje, že pokus č.1(oxidace jodu z jodidu peroxidem vodíku katalyzovaná měďnatými ionty) je zařazen jak do kategorie **Homogenní katalýzy**, tak do kategorie **Reakce peroxidu vodíku**. Existuje tak pouze jeden unikátní (v počítačovém slova smyslu) pokus a např. komentáře přidané k tomuto pokusu v kterékoli kategorii se zobrazí ve všech dalších, neboť vždy se vyvolává odkaz na tentýž uložený pokus. Tento příklad ilustruje významný prvek působící v mnoha částech aplikace proti roztříštěnosti a ztrátě (snad výstižněji řečeno "zašantročení") dat.

c) Třetím a posledním příkladem by měl naznačit, jak je zajištěno získávání údajů o možnosti použít daný pokus jako žakovský, což je nejnáročnější funkce kartotéky a proto si dovoluji složitější schéma:

pokusy	
id	název
1	Oxidace jodu...
2	Rozklad peroxidu...
...	...

chemikálie	
id	název
1	peroxid vodíku
2	síran měďnatý
...	...

nebezpečnost		
id	název	hodnocení
1	dráždivý	2
2	toxický	4
...	...	...

rel pokusy-chemikálie	
pokus_id	chemikálie_id
1	1
2	1
2	2
...	...

rel chemikálie-nebezpečnost	
chemikálie	nebezpečnost
1	1
2	1
2	2
...	...

d) Uživatel si v kategorii "Homogenní katalýza" vybere pokus "oxidace jodu z jodidu..." a klikne na jeho odkaz; server obdrží požadavek na zobrazení pokusu číslo 1.

Z tabulky *rel\_pokus-chemikálie* zjistí identifikátory všech chemikálií, které jsou při tomto pokusu použity. V druhém kroku zjistí z tabulek *rel\_chemikálie-nebezpečnost* a *nebezpečnost* jaká je dané chemikálii dle vyhlášky č.356/2003 (3) přiřazena třída nebezpečnosti a zda lze tedy tuto látku používat např. v žákovském experimentu. Získanou informaci server prezentuje podkladovou barvou názvu dané chemikálie.

A zde opět vysvítá účelnost relačního uložení dat – při změně klasifikace dané látky stačí změnit jediný údaj v databázi a příslušná změna se projeví u VŠECH případů použití dané látky v pokusech..!

Neodpustím si poznámku, že klasifikace přípravků (nejčastěji roztoků dané chemické látky) závisí na jejich koncentraci a skutečný, v aplikaci použitý relační systém je výrazně komplikovanější nežli uvedené příklady.

#### Převod dat

Informace obsažené v kartotéce z diplomové práce jsem převedl do připravené báze dat a naprogramoval jsem příslušné obslužné skripty. U graficky střízlivého designu je významným prvkem zabudování podpory tiskových CSS, což zefektivňuje tvorbu testů, tisk jednotlivých pokusů a jiné.

### **Zpracování platné legislativy**

Poslední významnou částí realizace kartotéky bylo zpracování legislativních regulí do aplikace - přepsání hrůzného objemu dat ze Seznamu klasifikovaných látek a přípravků (3) a zavedení systému hodnocení použitelnosti dané látky či přípravku ve škole.

## Legislativní aspekt

Jako hlavní náplň své práce jsem si zvolil vytvoření systému, který bude umožňovat snadnou aktualizaci dat, zejména ve vztahu k legislativním omezením. V otázce interpretace příslušných právních předpisů jsem se spolehl na příručku (1); na jejím základě jsem hodnotil a v kartotéce graficky znázornil možnost použití dané chemické látky či přípravku takto...

Kategorie látek	s látkami smí fyzická osoba v rámci školy nakládat		
	až po dovršení 18 let	od 15 do 18 let jen v rámci přípravy na povolání	od 10 do 18 let
E	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ne	ne
O	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, po zaškolení autorizovanou osobou	ano, pokud splňují technické požadavky na hračky
F+	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou
F	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou
R10	neomezeno	neomezeno	neomezeno
T+	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, pod dohledem autorizované osoby	ne
T	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, pod dohledem autorizované osoby	ne
Xn	neomezeno	neomezeno	neomezeno
C	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, pod dohledem autorizované osoby	ano, pokud splňují technické požadavky na hračky
Xi	neomezeno	neomezeno	neomezeno
R42	neomezeno	neomezeno	neomezeno
R43	neomezeno	neomezeno	neomezeno
Karc. kat. (1,2)	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, pod dohledem autorizované osoby	ne
Mut. kat. (1,2)	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, pod dohledem autorizované osoby	ne
Repr. kat. (1,2)	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, pod dohledem autorizované osoby	ne
N	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou	ano, zabezpečeno autorizovanou osobou
Karc., Mut., Repr. kat (3)	neomezeno	neomezeno	neomezeno

Klasifikace látek a přípravků, koncentračních limitů atd. vychází z (3). Jak je v hlavičce legendy u každého pokusu uvedeno, grafické vyjádření možnosti použití chemické látky nebo přípravku ve škole vychází z předpokladu zaškolení, dohledu a zabezpečení autorizovanou osobou...! tj. klasické školní laboratorní práce či žákovský experiment prováděný před třídou. Pokud není v databázi uložena informace o nebezpečnosti dané látky, podbarví se modrou barvou jako „nezjištěno“.

## Doplňkové skripty

V sedmém bodě požadavků na kartotéku jsem uvedl rozšíření o doplňkové skripty. Důvodů pro to je hned několik:

1. zvýšit návštěvnost stránek – samotná kartotéka, alespoň v současném stavu, není dostatečně atraktivní a nízká návštěvnost je na škodu výměně zkušeností a postřehů k jednotlivým pokusům
2. již v době nástupu do zaměstnání jsem si připravil některé skripty; např. generátor testů, který velmi často používám pro procvičování názvosloví anorganické chemie a mám ohlasy projevující zájem o jeho používání
3. data, přenesená pro potřebu klasifikace a omezení týkajících se pokusů, zejména však datová struktura pro ni vytvořená přímo nabízí (a v porovnání s objemem vstupní práce lze říci že jednoduše) možnost vytvářet on-line etikety na zásobní nádoby – proč tedy této možnosti nevyužít...

### Vytvořené skripty

1. **výpočet aritmetického průměru** – ve třetím bodě tohoto odstavce popsaný generátor testů natolik usnadní testy na názvosloví, že se za pololetí snadno nashromáždí až 15 známek; jelikož aritmetický průměr je jedním z podkladů pro závěrečnou klasifikaci žáka, je vhodné mít možnost rychlého a jistého výpočtu.
2. **výpočet molární hmotnosti** – je využíván pro některé interní funkce kartotéky; není důvod ho samostatně nezveřejnit, byť použití bude asi omezené
3. **generátor testů** – pro komunikaci se žáky a pro podporu výuky za využití možností Internetu používám vlastní internetové stránky, jedna z částí je i generátor náhodných testů, umožňující rychlou tvorbu testů zejména z oblasti názvosloví anorganické chemie – značky a názvy prvků, názvosloví oxidů, halogenidů, sulfidů, kyselina a solí kyslíkatých kyselin.

Pomocí formuláře si vyučující zvolí tematické okruhy pro tvorbu testu, zvolí počet úloh, počet sloupců ( promítání přes dataprojektor pro dvě oddělení nebo tisk - 6 sloupců na jeden A4 papír – originální test pro každého žáka). Jednotlivé

úlohy jsou vybírány náhodně ze souboru úloh uložených na serveru. Pro jednotlivé stupně výuky chemie se vymezuje výběr chemických prvků, jejichž značky a názvy jsou od žáků požadovány, z tohoto výběru vyplývají také sloučeniny, které se mohou v následujících testech objevovat – generátor testů na Didaktis.net proto nabízí pro každého uživatele možnost uloženého výběru úloh z celkového souboru, z nichž má být vybíráno pro daný test.

**4. tvorba validních etiket pro označování zásobních nádob chemikálií ve školní praxi** - data charakterizující látky běžně používané ve školní praxi jsou pro potřeby kartotéky pokusů již zpracovány. Z programátorského hlediska představuje etiketa jen jiný způsob prezentace uložených dat a napsání tohoto doplňku již není žádný nadlidský výkon. Věřím že právě toto rozšíření kartotéky bude nejpraktičtějším pomocníkem učitelů.

## Zhodnocení výsledků práce, závěr

V úvodu práce jsem vytyčil sedm požadavků na Kartotéku chemických pokusů, pojdme tedy shrnout, nakolik se mi podařilo jednotlivé body naplnit

- 1. Veřejně přístupná přes síť Internet, na snadno zapamatovatelné adrese, s přehledným, věcným designem bez agresivních prvků, zcela podřízeným prvotnímu účelu – podpoře výuky chemie*
- 2. Zaměřená na učitele chemie, bez aspirací stát se rozcestníkem, všezahrnujícím portálem apod.; svou povahou, obsahem a provedením originální bez obsahových duplicít dostupných z jiných informačních zdrojů*

Body první i druhý jsou splněny zcela dle přání autorova.

- 3. Dynamická, s možností snadným způsobem pokusy měnit, komentovat, rozšiřovat, třídit podle různých hledisek*

Předpoklady pro dynamičnost kartotéky jsou položeny v relačním uspořádání dat, formuláře na vkládání nových a úpravu chemických pokusů jsou dostupné pouze vybraným uživatelům, aby byla zajištěna věrohodnost dat.

- 4. Internetovou aplikací v plném slova smyslu, musí využívat systém registrovaných uživatelů z důvodů*
  - 1. odpovědnosti za vložená data a ochranu proti vandalismu*
  - 2. personalizace kartotéky – osobní nastavení některých parametrů*
  - 3. pochopitelně také marketingových*

Aplikace využívá PHPsession, po nezávazném zaregistrování získává uživatel možnost ukládání testových schemat a vlastního stylování etiket.

- 5. V souladu s platnou legislativou a to jednoznačným, jednoduchým způsobem – tato látka v dané koncentraci smí být žáky používána | tato látka nesmí.*

Jednoznačné prezentace uložených dat je dosaženo barevným podbarvením chemikálií zobrazovaného pokusu, kartotéka je v souladu s legislativou (2, 3) v interpretaci dle (1). Pokud není informace o dané chemikálii dostupná, je na to rovněž upozorněno

- 6. Alespoň částečně vícejazyčná*

Anglické názvy prvků, chemikálií i sloučenin jsou již v databázi uloženy, celá aplikace je psána za použití SmartyMultiLanguages rozšíření, tj. lokalizace do dalších jazyků je jen otázkou časové investice. Texty popisující přípravu a provedení pokusů zůstanou pouze v české verzi, dokud se mi nepodaří získat odborně způsobilého lektora či nezískám více sebedůvěry ve své jazykové schopnosti.

*7. Doplněná zajímavými funkcemi využitelnými ve škole – tvorba etiket na obaly chemických látek, formulář na evidenci toxických látek, generátor testů atd.*

Generátor testů představuje funkci, kterou sám pro svou výuku využívám a jsem si jist, že po rozšíření nabídky testových úloh (chystám např. hydrogensoli, podvojně oxidy, podvojně soli apod.) bude každodenním pomocníkem i pro ostatní učitele. Jednoduchá a bezplatná tvorba etiket je obzvláště ve školním prostředí velmi postrádanou funkcí.

## **Závěr**

Kartotéka, kterou představuji jako výsledek mé rigorosní práce, přináší nové, dosud nerealizované funkce, které ji odlišují od obdobných projektů. Systém vyjadřující legislativní aspekty školních chemických pokusů má mimořádný význam pro školní pokusnictví, rovněž doprovodné skripty mohou výrazným způsobem zkvalitnit práci učitelů chemie základních a středních škol.

Do konce školního roku 2005/2006 připravuji:

- A) rozšíření testových úloh na všechny „skupiny“ anorganického názvosloví a doplnění skupin stávajících
- B) zkušební verzi prostředí pro tvorbu osnov a zejména příprav pro potřeby Rámcových školních vzdělávacích programů.



## **Použitá literatura:**

- (1) Zajíček, J. - Beneš, P.: Použití chemických látek ve škole. Praha:FORTUNA 2001. 64s. ISBN 80-7168-777-4
- (2) zákon č.356/2003Sb. - Zákon o chemických látkách a přípravcích a o změně některých zákonů
- (3) vyhláška č. 232/2004Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o chemických látkách a přípravcích a o změně některých zákonů, týkajících se klasifikace, balení a označování nebezpečných chemických látek a chemických přípravků; přílohy č.1 až 10

## **Příloha A - původní diplomová práce**

# 1 Obsah

1	Obsah .....	1
2	Úvod.....	2
3	Teoretická část - definice, princip funkce a rozdělení katalyzátorů, teoretický výklad problematiky .....	3
3.1	Katalýza a inhibice chemických reakcí.....	3
3.2	Acidobazická katalýza.....	12
3.3	Enzymová katalýza .....	14
3.4	Heterogenní katalýza.....	15
3.5	Fotokatalýza.....	15
4	Analýza českých učebnic chemie zaměřená na pojetí, obsah a experimentální základ učiva o katalyzátorech .....	18
4.1	Metodika .....	18
4.2	Výsledky analýzy .....	18
5	Výběr, prozkoušení vybraných pokusů .....	22
5.1	Seznam pokusů potenciálně vhodných pro školní praxi.....	22
5.2	Popis pokusů .....	24
6	Zhotovení kartotéky.....	31
6.1	Obsah kartotéky chemických školních pokusů .....	31
6.2	Forma kartotéky chemických školních pokusů .....	32
6.3	Technické provedení .....	33
7	Závěry .....	35
8	Použitá literatura .....	36
8.1	Teoretické zpracování práce a zdroje pokusů .....	36
8.2	Analyzované učebnice a pracovní sešity .....	37

## 2 Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvoření kartotéky chemických pokusů na téma „katalyzátory“. Kartotéka bude tvořit přehledný soubor běžných i méně známých chemických školních pokusů, využitelný při přípravách vyučování učitelem, doplněný o fotografie uvedených pokusů, které lze uplatnit i přímo ve vyučovací hodině.

V úvodní části práce uvádím teoretický výklad problematiky katalyzátorů, jejich dělení podle různých kritérií a výklad základních pojmů z oblasti katalýzy.

V další části se věnuji analýze učebnic chemie pro základní a střední školy, které obsahují zpracovanou problematiku katalyzátorů popř. enzymů, sleduje, které pokusy jsou využity pro výklad učiva. Výsledkem jsou tabulky shrnující pokusy z více než pětadvaceti učebnic, jsou zde také shromážděny zajímavosti a myšlenkové konstrukty, které jsou obsaženy v některých z učebnic a které vybočují ze standardního podání tématu.

Ústřední částí mé práce je prozkoušení vybraných pokusů, které jsem shromáždil, jejich kritické zhodnocení ve vztahu ke školní praxi, porovnání výsledků udávaných ku dosaženým a jejich fotografická dokumentace. Na tomto základě jsem vytvořil elektronickou kartotéku chemických pokusů ve formě HTML stránek přiloženou na CD. Kartotéka obsahuje pokusy, jež jsem zhodnotil jako potenciálně přínosné; obsahuje návod na přípravu pokusu, na rozdíl od mnohých původních zdrojů i čas přípravy i provedení, jednotný systém udávání veličin apod., dále vložené fotografie a vysvětlení prezentovaných dějů. Komentář kartotéky podává pátá kapitola.

Po shrnutí dosažených výsledků práce je uvedena použitá literatura, pro přehlednost rozdělená na dvě části - literatura použitá pro teoretické zpracování problematiky nebo sloužící jako zdroj pokusů a samostatný seznam analyzovaných učebnic. Pokud byl některý pokus čerpán z učebnice, je tato uvedena jak v seznamu učebnic, tak ve zdrojích pokusů.

V Praze 15. dubna 2004

### **3 Teoretická část - definice, princip funkce a rozdělení katalyzátorů, teoretický výklad problematiky**

zpracováno podle Vohlídal<sup>24</sup>

#### **3.1 Katalýza a inhibice chemických reakcí**

Katalýza a inhibice jsou známé především jako účinné nástroje kontroly a řízení chemických reakcí využívané k laboratorním syntézám a průmyslové produkci látek. Ještě významnější je však jejich role při uskutečňování a regulaci chemických dějů v živé i neživé přírodě. V obou těchto oblastech bývá výsledný efekt dosažen kombinací katalýzy žádoucích dějů a inhibice nežádoucích dějů, které jsou v dané soustavě za aktuálních podmínek termodynamicky uskutečnitelné.

#### **PRINCIPY KATALÝZY**

**Katalyzátor** je látka, která i při nízké koncentraci v reakční směsi výrazně urychluje žádanou reakci a přitom v důsledku uskutečňování pouze této reakce nezaniká - úhrnné látkové množství všech forem katalyzátoru (volný katalyzátor a jeho komplexy s reaktanty, meziprodukty a produkty, popř. s inhibitorem) se během reakce nemění. Pokud katalyzátor při reakci zaniká, děje se tak vedlejšími reakcemi.

Pojem katalýzy se v chemii používá ve dvojitým významu:

**Katalýza** je (i) proces ovlivňování chemických reakcí katalyzátory; (ii) oblast chemie zabývající se vývojem katalyzátoru a poznáváním jejich struktury a mechanismu působení.

**Funkce katalyzátoru na molekulární úrovni.** Přidáme-li do reakční soustavy katalyzátor, otevře se v ní vedle pomalejší nekatalyzované reakce, probíhající v přítomnosti i v nepřítomnosti katalyzátoru, nová reakční cesta

přeměny reaktantu na produkty, která je sice delší, neboť má složitější mechanismus, avšak rychlejší, neboť aktivační Gibbsovy energie všech jejích dílčích kroků jsou nižší než  $\Delta G^\ddagger$  nekatalyzované reakce. Navíc, na konci každého reakčního obrátu katalyzované reakce se částice katalyzátoru regeneruje - uzavírá se katalytický cyklus. Proto katalyzátor danou reakcí nezaniká, ačkoliv se podílí na všech jejích klíčových dílčích krocích.

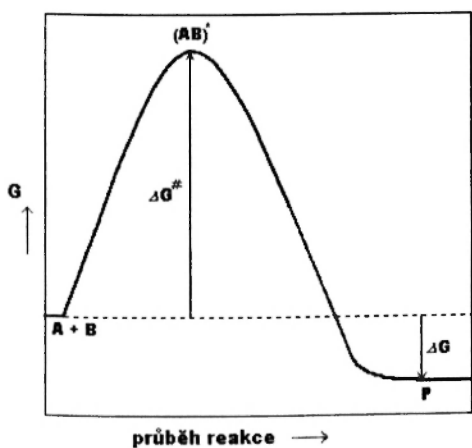
Celková rychlost katalyzované reakce -  $v$  - je obecně rovna součtu

$$v = v_0 + v_{\text{kat}}$$

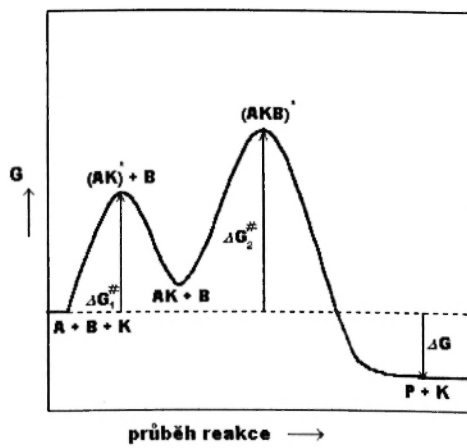
rychlostí nekatalyzovaného a katalyzovaného děje:

kde rychlost nekatalyzovaného děje  $v_0$  bývá prakticky nulová nebo zanedbatelná vůči rychlosti děje katalyzovaného  $v_{\text{kat}}$ . Z uvedeného dále vyplývá, že:

- katalyzované reakce jsou reakcemi s cyklickými sekvencemi elementárních kroků;
- katalyzátor nefiguruje ve stechiometrii celkové reakce, ačkoliv se reakce zúčastňuje.



Nekatalyzovaný děj



Katalyzovaný děj

Mezi pokusy ke katalýze se v některých zdrojích objevily pokusy využívající děje označované jako galvanokatalýza. Kupříkladu webové stránky<sup>26</sup> uvádí pokus založený na reakci zinku se zředěnou kyselinou sírovou, urychlovaný

přítomností práškové mědi (nebo malým množstvím roztoku síranu měďnatého, přičemž dojde k vyloučení mědi na granulích zinku), jako příklad katalyzované reakce založené na vytvoření galvanického článku, který urychlí oxidaci zinku. Na základě úvodní definice katalyzátorů - tj. látek, které i v nízké koncentraci výrazně urychlují žádanou reakci a v důsledku uskutečňování této reakce nezaniká, by bylo možno řadit i tyto děje do katalýzy. Reakce však již nevyhoví výkladu funkce katalyzátoru na molekulární úrovni, neboť vytvořením galvanického článku z ušlechtilějšího kovu a reaktivnějšího zinku pouze prostorově oddělujeme vznik vodíku a zinečnatých iontů, což snižuje jejich rekombinaci, a zvětšením povrchu, na kterém probíhá vylučování vodíku, snižujeme koncentrační odpor.

Proto se, dle mého názoru, jedná o mechanismy ovlivňování průběhu chemických reakcí, které nespádají do oblasti katalýzy a neměly by být využívány pro demonstraci katalyzátorů, ale spíše pro oblast elektrochemie.

## KATALÝZA, KATALYZÁTORY - KLASIFIKACE

### 1.) Klasifikace podle fázového charakteru reakční směsi.

- **homogenní katalýza** - katalyzátor i reaktant(y) jsou v jedné společné fázi, přičemž reakční produkt(y) mohou případně vytvářet samostatné fáze - mohou z reakční směsi unikat jako plyn(y), nebo se z ní mohou vydělovat jako sraženina, samostatná kapalná fáze nemísitelná s reakční fází apod. Příslušné katalyzátory nazýváme homogenní katalyzátory. Homogenní katalýza je nejběžněji demonstrována na katalytickém rozkladu peroxidu vodíku roztokem jodidu draselného, případně enzymatickými reakcemi.

- **heterogenní katalýza** - katalyzátor tvoří samostatnou, obvykle tuhou fázi reakční směsi; takové katalyzátory nazýváme heterogenní katalyzátory. Je-li heterogenní katalyzátor připraven zakotvením původně homogenního katalyzátoru na vhodném nosiči, jedná se o heterogenizovaný katalyzátor. Ve škole nejčastěji demonstrovaný rozklad peroxidu vodíku na oxidu

manganičitém.

- **mczifázová katalýza** - katalyzátor je rozpuštěn v jedné fázi reakční směsi a alespoň jeden z reaktantů je obsažen v jiné její fázi; katalyzovaná reakce pak probíhá ve fázovém rozhraní na styku těchto fází. Příkladem jsou reakce probíhající v disperzi dvou nemísitelných kapalin, z nichž v jedné je rozpuštěn katalyzátor a ve druhé reaktanty.

2.) **Klasifikace podle chemické podstaty katalyzátoru** je prakticky neomezená. Následující přehled proto obsahuje jen hlavní typy katalýzy dle tohoto kritéria.

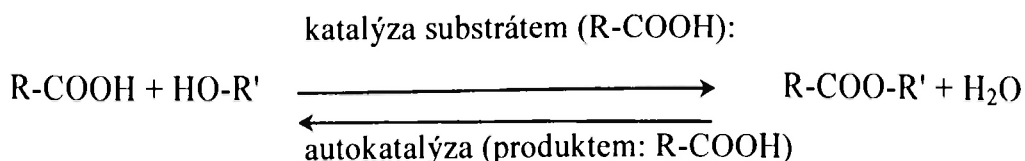
- **acidobazická katalýza** - katalyzátor je Brønstedova kyselina nebo báze;
  - **kyselá katalýza** - katalyzátorem je kyselina nebo kyselá skupina heterogenního katalyzátoru nebo iontoměniče; ve škole je často demonstrována kyselá hydrolyza škrobu;
  - **bazická katalýza** - katalyzátorem je báze nebo bazická skupina heterogenního katalyzátoru nebo iontoměniče;
- **koordinační katalýza** - katalyzátorem je koordinační sloučenina (komplex kovu) nebo Lewisova kyselina; např. školní pokus rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný tetramminměďnatým iontem;
- **enzymová katalýza** - katalyzátorem je enzym, ať uvnitř organismu (*in vivo*), nebo mimo něj (*in vitro*);
- **biokatalýza** - katalyzátorem je biosystém (kvasnice, buňky, buněčné orgány);
- **redoxní katalýza** - katalyzátorem je oxidačně-redukční systém, např.  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ , methylenová modř - příkladem je zajímavý pokus Blue Efekt, v němž methylenová modř působí jako přenašeč vzdušného kyslíku na glukosu.

3.) **Klasifikace v případech, kdy katalyzátorem je reaktant nebo produkt.**

- katalýza **substrátem** - katalyzátorem je reaktant katalyzované reakce, takže katalytický efekt klesá s rostoucí konverzí;



- **autokatalýza** - katalyzátorem je produkt katalyzované reakce, takže katalytický efekt vzrůstá s rostoucí konverzí; např. esterifikaci karboxylové kyseliny i hydrolýzu jejího esteru lze katalyzovat silnou kyselinou. Není-li tato přítomna, přebírá její funkci karboxylová kyselina, která je při esterifikaci reaktantem - dochází ke katalýze substrátem, avšak při hydrolýze produktem dochází k autokatalýze:



Autokatalýza je ve školních pokusech demonstrována na oxidaci kyseliny šťavelové manganistanem draselným v přítomnosti kyseliny sírové, nebo na oxidaci jodidu draselného kyselinou dusičnou.

#### 4.) Klasifikace podle formy dodávané energie - fotokatalýza..?

Někteří autoři používají termín fotokatalýza - webové stránky<sup>27</sup> uvádějí pokus nazvaný „Fotokatalytická bromace alkanů a aromátů (The Light-Catalyzed Bromination of an Alkane and of an Aromatic Compound)“, Termín je v tomto případě pochopitelně zcela irelevantní, neboť se jedná o nekatalyzovanou reakci **iniciovanou** světlem.

Fujishima a kol.<sup>9</sup> označuje jako fotokatalýzu děje probíhající na površích opatřených vrstvou oxidu titaničitého (např. dlaždice HydroTec® firmy RAKO). Termín zde použitý vyjadřuje nezanedbatelnou odlišnost tohoto případu co se týče zdroje energie pro heterogenně katalyzované reakce probíhající na upraveném povrchu a má své opodstatnění.

#### DALŠÍ TERMÍNY Z OBLASTI KATALÝZY

**Selektivita** - katalyzátor přednostně katalyzuje přeměnu pouze jednoho z přítomných substrátů, tehdy vykazuje **substrátovou selektivitu**, nebo přednostně katalyzuje přeměnu daného reaktantu na jeden z možných produktů, tehdy vykazuje **produktovou selektivitu**, nebo vykazuje preferenci při obou těchto výběrech, tj. substrátovou i produktovou selektivitu. **Specifický**

katalyzátor katalyzuje přeměnu pouze jediného z přítomných substrátů (vykazuje **substrátovou specificitu**), nebo výlučně katalyzuje přeměnu daného reaktantu na jediný z možných produktů (vykazuje **produktovou specificitu**), nebo vykazuje 100%-ní rozlišení při obou těchto výběrech, tj. **substrátovou i produktovou specificitu**. Je to vlastně 100%-ně selektivní katalyzátor. Týká-li se selektivita (specificita) nikoli jen jedné látky, ale jisté definované skupiny látek, jedná se o **skupinovou selektivitu (skupinovou specificitu)**.

Týká-li se selektivita nebo specificita polohových izomerů, hovoříme o **regioselektivitě**, vyjímečně o **regiospecificitě** reakce nebo katalyzátoru; (region = oblast). Regioselektivní až regiospecifické jsou např. elektrofilní adice, které se řídí Markovnikovým pravidlem. Vysokou regioselektivitu vykazují zejména enzymy.

Týká-li se selektivita nebo specificita stereoizomeru, jedná se o **stereoselektivitu** nebo **stereospecificitu**. Tyto vlastnosti jsou zcela běžné pro enzymy a patří k žádaným charakteristikám stále většího počtu nově vyvíjených syntetických katalyzátorů. Při některých reakcích se může současně uplatňovat stereoselektivita i regioselektivita.

**Aktivátor** je látka, která buď indukuje nebo zvyšuje aktivitu nebo substrátovou selektivitu (tu může i změnit) enzymu (katalyzátoru), aniž by jakkoli participovala na samotném katalytickém ději. Typickými aktivátory jsou kationy kovů s protonovým číslem od 11 do 55, zejména  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{Mo}^{3+}$  (ionty těžších kovů naopak působí jako inhibitory) a též některé aniony; např.  $\text{Cl}^-$  a  $\text{Br}^-$  aktivují  $\alpha$ -amylasu. Funkce aktivátoru spočívá v tom, že se reverzibilně váže na enzym, čímž indukuje takové jeho konformační změny, že se oblast jeho aktivního místa stericky optimalizuje pro adici příslušného substrátu (teorie "zámku a klíče").

**Promotor** je látka, která zvyšuje aktivitu, selektivitu nebo životnost katalyzátoru, aniž by se sama zúčastnila vlastního katalytického děje. Promotor funguje buď tak, že zvyšuje aktivitu katalyzátoru v žádaném směru, nebo tak, že inhibuje nežádoucí vedlejší katalytické reakce a reakce vedoucí ke ztrátě aktivity

katalyzátoru. Částice promotoru vhodně koordinovaná ke katalytickému centru může:

- vytvořit lepší sterické podmínky pro průběh žádoucí katalytické reakce,
- bránit asociaci katalytických center vedoucí k jejich deaktivaci,
- bránit adici látek vstupujících do vedlejších reakcí nebo indukujících zánik katalytických center apod.

**Kokatalyzátor** je látka, která obvykle *in situ* reaguje s prekursorem katalyzátoru a indukuje jeho přeměnu na katalytická centra. Například v Ziegler-Nattově katalytickém systému pro polymerizaci ethenu, tvořeném chloridem titaničitým a triethylalumiinem, je chlorid titaničitý prekursorem katalyzátoru a triethylaluminium kokatalyzátorem. Při "zrání" katalytického systému se  $Ti^{IV}$  redukuje na  $Ti^{III}$  a s další molekulou  $AlEt_3$  vytváří dvojjaderný můstkový komplex - katalytické centrum, v němž je titan atomem, ke kterému se koordinuje ethen, který se pak včleňuje (inzeruje) do rostoucího řetězce.

V případě Ziegler-Nattova katalyzátoru se obě složky katalytického systému podílejí na stavbě aktivních center, což nebývá u jiných systémů obvyklé; kokatalyzátor se podílí pouze na generaci aktivních center, zatímco produkty jeho přeměny se samotného katalytického procesu v podstatě nezúčastňují.

**Katalytický systém (vícesložkový katalyzátor)** je soustava dvou a více látek, která vykazuje katalytický efekt. Katalytickými systémy jsou již uvedené soustavy katalyzátor-kokatalyzátor nebo soustavy katalyzátor-promotor, katalyzátor- kokatalyzátor-promotor atd. Jiným typem katalytických systémů jsou soustavy, v nichž při uskutečňování výsledného děje kooperují dva a více katalytických center.

Příkladem je katalytický systém  $H[PdCl_2(OH)]/CuCl_2$ , používaný k průmyslové oxidaci ethenu na acetaldehyd. Reakce probíhá na částicích palladia, které se při oxidaci ethenu redukují. Proto po každém katalytickém cyklu musí být oxidovány zpět na  $Pd^{2+}$ , což obstarává redoxní systém  $Cu^{2+}/Cu^+$ . Ionty  $Cu^+$  jsou pak vzdušným kyslíkem v přítomnosti  $HCl$  oxidovány zpět na  $Cu^{2+}$ .

Úhrnnou reakci popisuje stechiometrická rovnice



- samotnou reakcí nevznikají vedlejší reakční produkty;
- oxidace probíhá nepřímo: kyslíkem se oxidují ionty  $\text{Cu}^+$ , ty oxidují  $\text{Pd}^0$  na  $\text{Pd}^{2+}$  a teprve komplex  $\text{Pd}^{2+}$  oxiduje ethen na acetaldehyd; odpadá tedy přímá reakce kyslíku s ethenem, která by probíhala s malou produktovou selektivitou.

## PRINCIPY INHIBICE

**Inhibice** je děj vedoucí ke zpomalení až praktickému zastavení (nežádoucích) chemických reakcí, jehož podstatou mohou být reverzibilní i ireverzibilní děje. Z hlediska výsledného efektu lze inhibici považovat za protiklad katalýzy, z hlediska mechanismu dosažení tohoto efektu nikoliv.

Ve volnějším pojetí se termín inhibice (udržování nebo vracení zpět) používá i pro zpomalování výsledné chemické reakce v důsledku uplatnění protisměrných reakcí; příkladem je reakce



**Inhibitor** je látka, která i při nízkých koncentracích v reakční soustavě výrazně zpomaluje danou chemickou reakci nebo prakticky znemožňuje její průběh. (Proto jsou inhibitory široce používány v praxi jako aditiva - stabilizátory, které brání korozi a degradaci různých materiálů, potravin, kosmetických výrobků, léčiv apod.).

**Molekulární mechanismus funkce inhibitoru** je zcela jiný než mechanismus funkce katalyzátoru. To, že inhibitor funguje i při nízkých koncentracích v reakční směsi indikuje, že zastavuje reakce, k jejichž průběhu postačují nízké koncentrace reakčních center, tj. řetězové a katalytické reakce, a že mechanismus jeho funkce spočívá v deaktivaci těchto reakčních center. Děje se tak reakcemi které mohou být vratné - tehdy se jedná o **reverzibilní inhibici**, nebo prakticky nevratné - pak se jedná o **inhibici ireverzibilní**.

Při výkladu faktorů ovlivňujících průběh chemických reakcí bychom se proto měli vyhnout chybnému dělení katalyzátorů na negativní a pozitivní, neboť to neodpovídá skutečnosti.

## **INHIBICE, INHIBITORY - KLASIFIKACE**

**Reverzibilní inhibice** se uplatňuje především při regulaci katalytických dějů, zejména dějů, které jsou součástí metabolických procesů. Jejimi základními typy jsou:

- **kompetitivní inhibice** - inhibitor soutěží se substrátem o stejné koordinační místo katalytické částice;
- **nekompetitivní inhibice** - inhibitor obsazuje jiné koordinační místo katalytické částice než substrát a aduje se jak na volný katalyzátor, tak i na komplex substrát-katalyzátor;
- **antikompetitivní inhibice** - inhibitor obsazuje jiné koordinační místo katalytické částice než substrát, ale aduje se pouze na komplex substrát-katalyzátor; jeho typickou funkcí je blokování katalytické přeměny "nesprávného" substrátu.

**Ireverzibilní inhibice** - jedná se převážně o zpomalování řetězových reakcí látkami, které ničí jejich aktivní centra (nejčastěji radikály), nebo o ničení aktivních center katalyzovaných reakcí různými katalytickými jedy. Ireverzibilní inhibitory lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

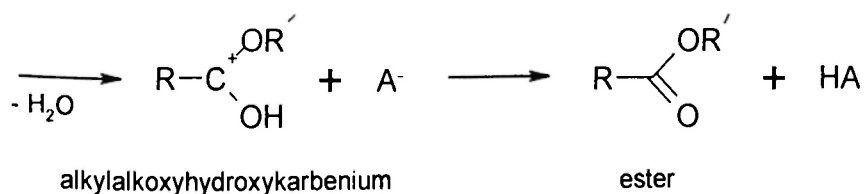
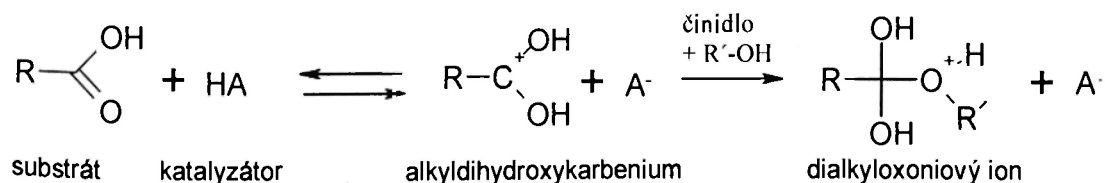
- **katalytické jedy** - prakticky nevratně likvidují aktivní centra katalytických reakcí např. ionty těžkých kovů, které s enzymy vytvářejí pevné neaktivní komplexy nebo u průmyslových hydrogenačních katalyzátorů jsou jedy různé sírné sloučeniny, které na povrchích katalyzátoru vytvářejí neaktivní vrstvičky sulfidu kovu;
- **stabilizátory** - které deaktivují centra řetězových reakcí nebo brání jejich vzniku; stabilizátory obvykle klasifikujeme podle typu procesu, které blokují.

- fotostabilizátory, které působí jako světelné filtry (absorpce světla) nebo jako zhasěče excitovaných stavů molekul;
- antioxidanty, které brání tvorbě volných radikálů (např. rozkladem peroxidu na neradikálové produkty nebo komplexací kationtů kovů katalyzujících rozklad peroxidu) nebo přerušují kinetické řetězce radikálových oxidací organických látek;
  - antiozonanty, které indukují neradikálové rozklady ozonu;
  - retardéry hoření (zhasěče), které zpomalují hoření organických látek buď tím, že radikálové meziproducty vysokoteplotní oxidace:  $H\cdot$ ,  $HO\cdot$ ,  $R\cdot$ ,  $RO\cdot$  a další převádějí na méně reaktivní bromové radikály  $Br\cdot$  (vícenásobně bromované uhlovodíky), nebo tím, že snižují teplotu chráněného materiálu svým silně endotermickým rozkladem (např. vápence).

### 3.2 Acidobazická katalýza

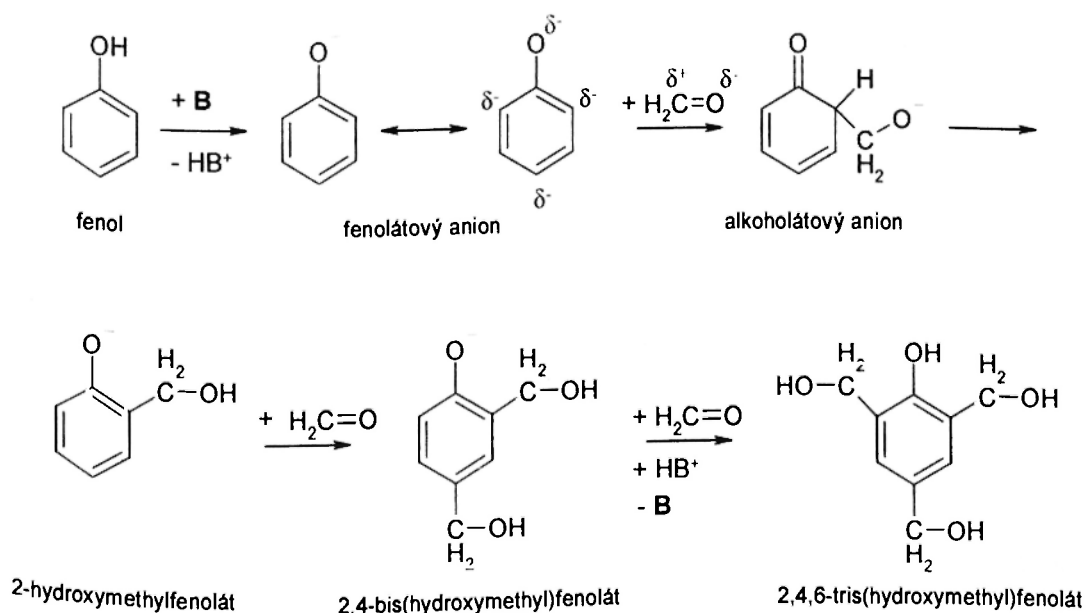
Podstatou acidobazické katalýzy je aktivace substrátu nebo činidla reverzibilní protolytickou reakcí (přenosem protonu) s katalyzující kyselinou HA, nebo s katalyzující zásadou B.

Příkladem kyselě katalyzované reakce probíhající mechanismem protonizace substrátu je esterifikace karboxylové kyseliny RCOOH alkoholem R'OH, což je z hlediska organicko-chemické klasifikace chemických reakcí nukleofilní substituce na karbonylovém uhlíku. Katalyzující kyselina protonizuje karbonylový kyslík karboxylu, který se mění na alkyl(aryl)dihydroxykarbeniový kation, který snadno akceptuje molekulu činidla - alkoholu:



*Kyselá katalyzovaná esterifikace karboxylové kyseliny RCOOH alkoholem R'OH*

Příkladem bazicky katalyzované reakce probíhající mechanismem deprotonizace substrátu je kondenzace formaldehydu s fenolem v alkalickém prostředí. V tomto případě katalyzující báze odnímá molekule fenolu kyselý vodík a vzniká fenolátový anion, jehož aromatické jádro má hustotu elektronů dostatečně vysokou na to, aby na něm mohla proběhnout elektrofilní substituce i neprotonovaným formaldehydem. Při potřebném nadbytku formaldehydu vzniká trisubstituovaný fenol, který je meziproduktem výroby fenolplastů (fenolformaldehydových pryskyřic) typu resolů:



Kondenzace formaldehydu s fenolem v alkalickém prostředí

### 3.3 Enzymová katalýza

Většina chemických reakcí probíhajících v živých soustavách je katalyzována enzymy, což jsou vysoce substrátově i produktově selektivní katalyzátory biologického původu, které si organismy syntetizují pro zabezpečení svých vlastních metabolických procesů. Z chemického hlediska jsou enzymy globulární bílkoviny s reakčními centry s přesnou prostorovou strukturou vyladěnou tak, že se na ně v oblasti reakčního centra mohou navázat jen určité, strukturně definované částice, které pak mohou být chemicky změněny; tehdy se jedná o substráty, nebo naopak mohou blokovat reakce, jež by na centru jinak mohly probíhat - tehdy se jedná o inhibitory. K reakčnímu centru enzymu se částice navazují obvykle alespoň ve třech bodech, a to především vodíkovými vazbami, dále Van der Waalsovskými interakcemi a také labilními kovalentními vazbami, např. vazbami typu Schiffových bází,  $-N=CH-$  (azomethinová skupina).

Přesná topologie vazebných míst v okolí reakčního centra enzymu dala vzniknout názorné představě, že substrát je vůči vazebným místům enzymu v obdobném vztahu jako klíč k zámku. Tato představa je v základních rysech správná; je však prokázáno, že při vazbě substrátu (nebo inhibitoru) na enzym dochází k určitým, mnohdy značným změnám v konformaci enzymu a tedy i okolí reakčního centra, které mohou reakci vlastní chemické reakci prospívat nebo naopak bránit (vliv inhibitoru). "Zámek" tedy obecně není pevný, ale do značné míry flexibilní. Tento jev se zásadním způsobem uplatňuje např. při antikompetitivní inhibici enzymových reakcí.

Spolu s vysokou selektivitou enzymy vykazují i neobyčejně vysokou katalytickou aktivitu.

Rozdíl mezi enzymy a ostatními katalyzátory není zásadního rázu. Spočívá hlavně v tom, že enzymy jsou katalyzátory syntetizované organismy pro jejich vlastní potřeby a že se vyznačují vysoce nadprůměrnou katalytickou selektivitou. Dalším rozdílem je vázanost funkčnosti enzymů na poměrně úzký teplotní interval, způsobený malou odolností bílkovin vůči zvýšené teplotě. Z hlediska



chemické kinetiky jsou však enzymy normálními katalyzátory, na které se vztahují stejné fyzikálně-chemické zákonitosti jako na ostatní katalyzátory.

### 3.4 Heterogenní katalýza

Při heterogenně katalyzovaných reakcích tvoří katalyzátor samostatnou fázi reakční směsi a katalyzovaná reakce probíhá na jeho povrchu, na který se alespoň jeden z reaktantů adsorbuje. Adsorpce reaktantu je analogií tvorby komplexu katalyzátor-substrát, protože chemické vazby v adsorbované částici jsou hluboce ovlivněny interakcemi s atomy nacházejícími se na povrchu katalyzátoru, čímž se obvykle stávají reaktivnějšími. Často je i samotný akt adsorpce doprovázen chemickou reakcí, obvykle disociací adsorbované částice na fragmenty. Tak je tomu např. při adsorpci molekulárního vodíku na platině či palladiu, nebo při adsorpci dusíku na katalyzátorech na bázi železa, používaných k průmyslové syntéze amoniaku.

Mechanismus heterogenně katalyzované reakce se obecně skládá z pěti dílčích procesů:

- transport reaktantů k povrchu katalyzátoru (obvykle konvekcí nebo difúzí); u porézních katalyzátorů se rozlišuje transport k jejich povrchu a difúze do jejich pórů;
- adsorpce reaktantu(ů) na povrch katalyzátoru;
- vlastní katalytická reakce - chemický proces;
- desorpce produktů z povrchu katalyzátoru;
- transport produktů od povrchu katalyzátoru.

Každý z těchto dílčích procesů může významně ovlivnit průběh celkové reakce. Největší význam však mají procesy adsorbce, chemické reakce a desorbce, které jsou pro průběh celkové reakce rozhodující.

### 3.5 Fotokatalýza

Jak jsem již dříve uvedl, fotokatalýza je pojem používaný pro zdůraznění

neobvyklosti zdroje energie pro katalyzovanou reakci - světla. Fujishima a kol.<sup>9</sup> vyvinuli četné aplikace fotokatalytického jevu u oxidu titaničitého pro přípravu povrchů, které při UV ozáření jeví superhydrofilní a silně oxidační tj. baktericidní účinky.

Oxid titaničitý má tři možné krystalické modifikace - rutil, anatas, brookit. Pro fotokatalýzu je použitelný v podstatě pouze ve formě anatasu. Po osvětlení této modifikace UV zářením vlnové délky maximálně 388nm dojde ke vzniku dvojice elektron-díra (zakázaný pás -0,2eV -+3eV).

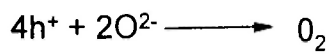
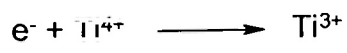
Díra zaniká reakcí s molekulou vody za vzniku hydroxylového radikálu, který dále reaguje s dostupnými organickými látkami, vznikají radikály těchto látek, ze kterých reakcí s molekulárním kyslíkem vznikají peroxoradikály. S nimi reaguje radikál peroxidového kyslíku  $\square O_2^-$  vyredukovaný z molekulového kyslíku volným elektronem a vznikají nestabilní sloučeniny, které se dále rozkládají. Sledem několika těchto cyklů dojde k úplnému odbourání organických látek přítomných na fotokatalyticky aktivním povrchu - povrch vykazuje mj. sterilizační a ve spojitosti se superhydrofilností samočisticí účinky.

Superhydrofilnost povrchu je způsobena nahrazením fotoinduktivních kyslíkových vakancí oxidu titaničitého disociovanými molekulami vody. Efekt se jeví pouze za osvětlení, obsahuje-li však povrch jemně rozptýlené látky poutající vodu jako např. silikagel, zůstane hydrofilnost zachována až na desítky hodin.

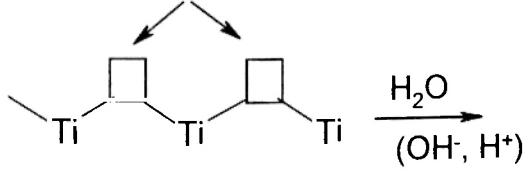
Fotokatalytické povrchy na bázi oxidu titaničitého jsou používány pro stále širší spektrum výrobků, v České republice je prozatím běžně dostupný pouze jeden, a to dlaždice firmy RAKO. S těmito dlaždicemi jsem vypracoval dva jednoduché pokusy demonstrující jejich neobvyklé vlastnosti.

Možnost využití tohoto katalyzátoru pro výuku je poměrně široká a měla by být v blízké budoucnosti detailně zpracována; je pouze otázkou času, kdy k nám proniknou ostatní oblasti aplikace fotokatalýzy oxidu titaničitého. Jeho „civilnost“ a předpokládaná spjatost s denním životem - viz. Fujishima a kol.<sup>9</sup> umožní jeho využívání jako mocného motivačního prvku výuky.

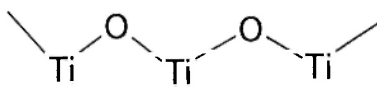
vytěsnění kyslíku z TiO<sub>2</sub> účinkem UV záření



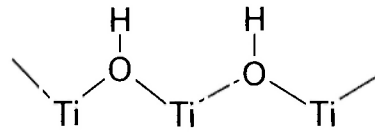
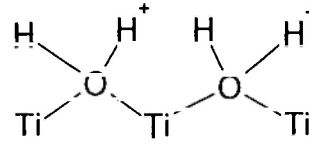
kyslíkové vakance



UV ↑ tma ↓



hydrofobní povrch



hydrofilní povrch

Mechanismus vzniku superhydrofilního povrchu

## **4 Analýza českých učebnic chemie zaměřená na pojetí, obsah a experimentální základ učiva o katalyzátorech**

### **4.1 Metodika**

Zpracoval jsem celkem 28 knižních titulů, jedná se o učebnice, učební texty a pracovní sešity (souhrnně je budu dále v textu označovat jako učebnice), které jsou v současné době dostupné na trhu a které v sobě zahrnují výklad chemické kinetiky včetně zmínky o katalyzátorech.

V učebnicích jsem sledoval tři aspekty učiva - jeho začlenění do tematického celku, způsob definování katalyzátoru a popis jeho funkce a experimenty, využívané pro demonstraci katalýzy. Výsledky jsem zpracoval do přehledových sumarizací, pokusy označuji podle použité reakce, konkrétní podmínky provedení pokusu ve většině případů zanedbávám, neboť se jedná o rozdíly, které nejsou dostatečně významné. Podrobná diskuse jednotlivých pokusů je obsažena v následující kapitole.

### **4.2 Výsledky analýzy**

#### **POJETÍ A OBSAH**

Podle Pachmanna<sup>19</sup> patří katalýza do tematického celku o chemickém ději, který zahrnuje tato dílčí témata:

- definice chemického děje
- způsob zápisu chemického děje chemickou rovnicí
- zákonitosti chemického děje - zákon zachování hmotnosti
- energetika chemických reakcí
- rovnováha chemického děje u vratných reakcí
- vnější faktory ovlivňující chemický děj - reakční kinetika

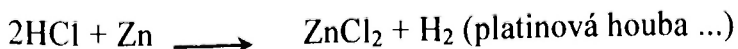
- typy chemických reakcí a jejich mechanismy

Katalyzátory jsou obsaženy v problematice kinetiky chemického děje, nebo v popisu možných mechanismů reakce.

Výklad katalýzy je v analyzovaných učebnicích zařazován dle výše uvedené osnovy, výklad teorií (srážková teorie, teorie aktivovaného komplexu) je, v závislosti na cílové úrovni žáků, často doplněn graficky znázorněným energetickým průběhem reakce na reakční koordinátě katalyzované a nekatalyzované reakce, v některých učebnicích je zaváděn i pojem inhibice.

Po obsahové stránce jsem se zaměřil především na definici pojmu katalyzátor, neboť v dříve vydávaných učebnicích se stávalo, že katalyzátor byl chybně definován jako látka, která se reakce neúčastní. Učebnice používají nejrůznější formulace „...nemění, po skončení reakce je beze změny, tvoří meziprodukty... apod., důsledně se však vyhýbají uvedené chybě. Pouze učebnice Čtrnáctová a kol.<sup>9</sup> definuje oxid manganičitý (v souvislosti s uvedeným pokusem oxid manganičitý + peroxid vodíku) takto: „...tato látka do reakce nevstupuje, jen ji urychluje, je to katalyzátor...“.Nevstupuje zde nese shodný význam jako neúčastní se a tedy je nutno považovat tuto definici za chybnou. Učebnice má platnou doložku ministerstva školství.

Nejčastěji používaným motivačním prvkem je vsuvka o katalyzátorech používaných v automobilech; učebnice Eisner<sup>11</sup> obsahuje obrázek znázorňující funkci katalyzátoru na dvou cestách se společným začátkem i koncem, vedoucích přes rozdílné převýšení a připomíná Döbereinerův zapalovač z roku 1823



Flemr a kol.<sup>14</sup> uvádí neotřelé podobenství o seznamování Čecha s Japoncem, které probíhá velmi pomalu a lze jej urychlit účastí tlumočnicka.

Kromě těchto málo případů lze konstatovat, že didaktické zpracování tohoto učiva se v učebnicích liší pouze výběrem pokusů.

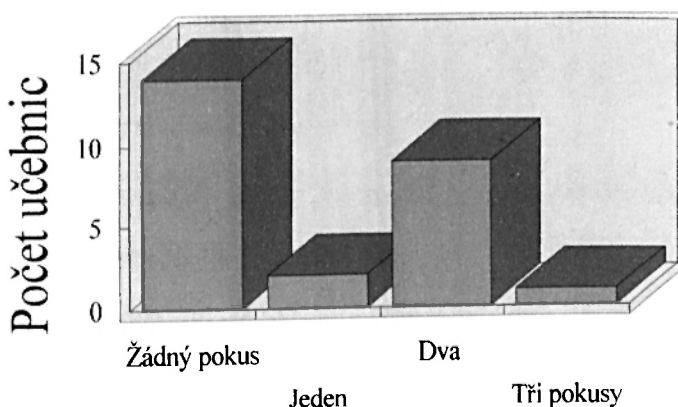
## EXPERIMENTÁLNÍ ZÁKLAD

Učivo o katalyzátorech *sensu stricto* je v učebnicích pochopitelně dalece

odděleno od učiva o enzymech, při provádění experimentů však vystupuje jejich chemická jednotka a bylo by nerozumné je oddělovat; proto v otázce pokusů přistupuji k oběma částem komplexně a analýza shrnuje oba celky.

Jako první aspekt experimentálního základu analyzovaných učebnic se jeví množství uváděných pokusů; údaje předkládám pouze jako konstatování bez snahy o jejich zhodnocení. Jsou zachyceny v následujícím grafu, který tak kvantitativně zpracovává výsledky analýzy zařazování návodů či ukázek z chemických pokusů do současných českých učebnic chemie pro základní a střední školy.

## Výskyt pokusů souvisejících s katalýzou



Bylo by nesprávné interpretovat graf v tom smyslu, že poměrně značná část učebnic opomíjí pokusy z oblasti chemické kinetiky. Učebnice v prvním sloupci, které pokusy z této problematiky neobsahují žádné, postrádají zpravidla pokusy u všech probíraných témat, ve značné míře se jedná o texty určené pro střední školy, doplněné pouze grafy a schémata, obsahující minimum obrázků a experimentů. Pokud jde o učebnice pro základní školu a učebnice středoškolské typu Beneš a kol.<sup>3</sup>, obsahují tyto ve většině případů dva pokusy dotýkající se otázky katalýzy. Větší množství pokusů obsahují pouze přeložené středoškolské učebnice Eisner a kol.<sup>11, 12, 13</sup>.

příloha A – původní diplomová práce

	<i>Počet učebnic pokus zahrnující</i>
Rozklad $H_2O_2$ na $MnO_2$	6
Hydrolyza škrobu slinnou amylasou	5
Hoření cukru katalyzované popelem	3
Hydrolyza sacharózy kvasnicemi	2
Důkaz křenové peroxidasy	2
Inhibice rozkladu $H_2O_2$ pomocí $H_2SO_4$	1
Inhibice rozpouštění Zn v $H_2SO_4$ formaldehydem	1
Rozklad $H_2O_2$ katalasou brambor	1
Oxidace vodíku na platinové houbě za studena	1
Zapálení vodíku nahřátou platinou	1
Autokatalytická oxidace kyseliny šťavelové manganistanem draselným	1
Rozklad močoviny ureasou	1
Účinek trypsinu na želatinové plotně	1
Účinek enzymů pracího prášku na vařené vejce	1

Celkový počet pokusů, které lze nalézt v současných českých učebnicích chemie k tématu katalýzy je 14.

Posledních šest pokusů se týká již zmiňovaných učebnic Eisner a kol.<sup>11, 12, 13</sup>, kde autoři předkládají pokusy, které se odlišují od výběru tradičního pro české autory učebnic. Heterogenní katalýzu demonstrují na úbytku vodíku při opakovaném protlačování pístem přes platinovou houbu jako pokus žákovský, nebo na učitelem prováděném pokusu zapálení vodíku na nahřáté platinové síťce - zde se domnívám, že hoření cukru či rozklad peroxidu jsou nejenom proveditelné se snáze dostupnými prostředky, ale zároveň i lépe prezentují daný jev. Homogenní katalýzu pak na autokatalytické oxidaci kyseliny šťavelové manganistanem draselným za přítomnosti kyseliny sírové; tuto snadnou a efektní reakci v domácích učebnicích nenajdeme. Z enzymů vybírá Eisner rozklad močoviny ureasou, demonstraci účinků trypsinu a pepsinu na želatinové plotně a účinek proteas a amylas současných pracích prostředků, jako substrát slouží vařené vejce.

## 5 Výběr, prozkoušení vybraných pokusů

Studiem literatury jsem shromáždil přes 30 školních chemických pokusů, které je možno využít pro demonstraci funkce katalyzátorů v chemických reakcích. Všechny dále uvedené pokusy jsem v laboratoři sám provedl, sledoval jsem náročnost přípravy, detaily jejich provedení, dále jsem konfrontoval mnou dosažené výsledky s výsledky, které uvádí autor a fotograficky jsem je dokumentoval.

### 5.1 Seznam pokusů potenciálně vhodných pro školní praxi

Pokusy jsou rozděleny dle klasifikace fázového charakteru, na konci seznamu jsou pokusy, které při realizaci neposkytly uspokojivé výsledky..

#### Homogenní katalýza

- 1) Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný tetraamminměďnatým iontem
- 2) Oxidace vinanu draselno-sodného peroxidem vodíku katalyzovaná kobaltnatými ionty
- 3) Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný roztokem jodidu draselného
- 4) Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný chromanem draselným
- 5) Oxidace jodu z jodidu peroxidem vodíku katalyzovaná měďnatými ionty
- 6) Kyselá hydrolyza škrobu a celulosy
- 7) Autokatalýza oxidace kyseliny šťavelové manganistanem draselným vznikajícím síranem manganatým
- 8) Autokatalýza oxidace jodidu draselného kyselinou dusičnou oxidy dusíku
- 9) Blue efect
- 10) Luminol - chemiluminiscence
- 11) Inhibice reakce zinku s kyselinou sírovou formaldehydem

#### Heterogenní katalýza



## příloha A – původní diplomová práce

- 12) Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný oxidem manganičitým a jinými látkami, inhibice rozkladu na oxidu manganičitém v kyselém prostředí
- 13) Hoření cukru katalyzované popelem
- 14) Katalytická oxidace amoniaku– platinová spirála v proudu kyslíku
- 15) Katalytická oxidace amoniaku – oxid chromitý
- 16) Katalytická oxidace amoniaku - oxid kobaltnato-kobaltitý
- 17) Katalytická oxidace alkoholu platinovou spirálou
- 18) Inhibice vylučování jodu z jodidu zředěnou kyselinou chlorovodíkovou za přítomnosti železných pilin
- 19) Model výroby kyseliny sírové kontaktním způsobem
- 20) Katalýza vodou - jódohliníková sopka
- 21) Katalýza vodou - zinek+dusičnan amonný+chlorid amonný - sopka
- 22) Fotoindukovaná superhydrofilnost oxidu titaničitého
- 23) Oxidační účinky fotokatalytických povrchů

### **Enzymová katalýza**

- 24) Rozklad škrobu slinnou amylasou
- 25) Rozklad škrobu amylasami klíčícího ječmene I., II.
- 26) Důkaz křenové peroxidasy
- 27) Detekce oxidas a peroxidas v zelném košťálu
- 28) Dehydrogenasa pekařských kvasinek
- 29) Důkaz dehydrogenasy v čerstvém kravském mléce
- 30) Rozklad močoviny ureasou ze sojové mouky

### **Pokusy bez uspokojujícího výsledku**

- 31) Působení trypsinu na želatinovou plotnu
- 32) Homogenní inhibice urotropinem
- 33) Rozklad peroxidu na oxidu manganičitém - výroba raket
- 34) Katalytická syntéza dusíku s vodíkem

35) Vliv enzymů pracích prostředků na vařené vejce

## 5.2 Popis pokusů

### HOMOGENNÍ KATALÝZA

#### **Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný tetraamminměďnatým iontem**

23

Katalyzátorem je komplexní tetraamminměďnatý ion tmavě modré barvy, který tvoří s peroxidem vodíku nestálou peroxosloučeninu hnědo-zelené barvy, která se pomalu rozkládá a roztok se postupně vrací zpět na původní modrou barvu komplexu.

#### **Oxidace vinanu draselno-sodného peroxidem vodíku katalyzovaná kobaltnatými ionty<sup>3</sup>**

Růžový roztok kobaltnaté soli se po přidání vinanu zbarví do hnědo-zelena, vlivem vznikajícího oxidu uhličitého silně pění a po skončení reakce se vrací čistě růžová barva roztoku. Díky pění připomínající var si pokus vysloužil přezdívku „katalytický svařák“.

#### **Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný roztokem jodidu draselného<sup>18</sup>**

Často uváděný pokus homogenně katalyzované reakce. Provedení na Petriho miskách, nebo ve vysokém válci se saponátem jako „Sloní zubní pasta“.

#### **Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný chromanem draselným<sup>1</sup>**

Po smíchání obou roztoků se změní barva na červenohnědou, po chvíli začíná šumět; vznikají bublinky plynu. Po skončení reakce je barva roztoku opět žlutá.

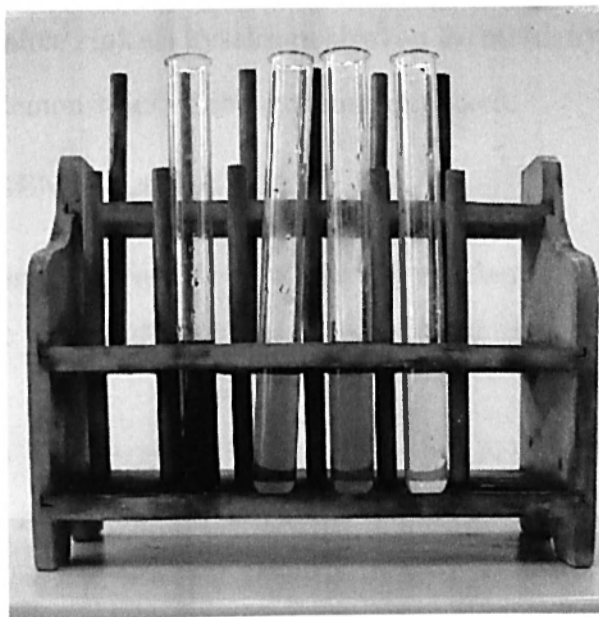
#### **Oxidace jodu z jodidu peroxidem vodíku katalyzovaná měďnatými ionty<sup>5</sup>**

Zkumavkový pokus, při kterém zředěný peroxid zoxiduje jod v jodidu, jod je detekován přímo hnědnutím roztoku, bez použití mazu. Jako katalyzátor se

použije několik zrn modré skalice.

### **Kyselá hydrolyza škrobu a celulosy**<sup>4, 15, 25</sup>

Příklad acidobazicky katalyzované reakce - škobový maz nebo rozetřená buničina jsou za tepla v prostředí kyseliny sírové hydrolyzovány na jednoduché cukry, což dokazujeme Fehlingovou zkouškou. Při rozkladu škrobu detekujeme úbytek škrobu reakcí s jodem.



### **Autokatalýza oxidace kyseliny šťavelové manganistanem draselným vznikajícím síranem manganatým**<sup>8, 16</sup>

Jeden ze dvou pokusů velmi pěkně demonstrující jev autokatalýzy. Sledujeme zkracování času potřebného pro odbarvení směsi.

### **Autokatalýza oxidace jodidu draselného kyselinou dusičnou**<sup>22</sup>

Druhý pokus pro demonstraci autokatalýzy. Kyselina dusičná oxiduje jod z jodidu, což se prokáže škrobovým mazem, porovnává se čas zmodrání škrobu reakcí s kyselinou prostou oxidačních nečistot a kyseliny oxidy dusíku (katalyzátory) obsahující.

### **Bluc efect**<sup>25</sup>

Glukosa v roztoku je oxidována vzdušným kyslíkem pomocí katalyzátoru

(přenašeče kyslíku) methylenové modři na kyselinu glukonovou. Stáním tak dochází k odbarvení roztoku, protřepáním ke zmodrání. Pokus probíhá do vyčerpání glukosy.

### **Luminol<sup>13</sup>**

Katalytickým působením iontů mědi dojde k oxidaci luminolu peroxidem vodíku provázené chemiluminiscencí.

### **Inhibice reakce zinku s kyselinou sírovou formaldehydem<sup>2</sup>**

Pokus pro demonstraci inhibice chemické reakce.

## **HETEROGENNÍ KATALÝZA**

### **Rozklad peroxidu vodíku katalyzovaný oxidem manganičitým a jinými látkami, inhibice rozkladu peroxidu na oxidu manganičitém kyselinou sírovou<sup>7, 18, 24, 25</sup>**

Jedná se o nejběžněji uváděný pokus v učebnicích. Průběh rozkladu peroxidu oxidem manganičitým se porovnává s průběhem reakcí peroxidu s jinými látkami, často vybranými pomocí metody brainstormingu. Rozklad na  $MnO_2$  je vhodný i pro demonstraci inhibice chemické reakce přidáním kyseliny sírové.

### **Hoření cukru katalyzované popelem<sup>14, 25</sup>**

Klasický pokus používaný v mnohých učebnicích a obsažen snad v každé sbírce pokusů. Samotný cukr v plameni karamelizuje, za přítomnosti iontů těžkých kovů však dochází k jeho vzplanutí.

### **Katalytická oxidace amoniaku – platinová spirála v proudu kyslíku<sup>7, 25</sup>**

Amoniak lze zapálit v proudu kyslíku, což demonstrujeme žhnoucí platinovou spirálou.

### **Katalytická oxidace amoniaku – oxid chromitý<sup>25</sup>**

Nejefektivnější z pokusů pro rozklad amoniaku - předem nahřátý oxid

chromitý sypeme do baňky s dostatkem par amoniaku, rozkladem amoniaku dochází ke žhnutí částic oxidu chromitého a ty se vznášejí po celém objemu baňky.

#### **Katalytická oxidace amoniaku – oxid kobaltnato-kobaltitý <sup>25</sup>**

Amoniak je dmýchán přes žhavený oxid kobaltnato-kobaltitý, vznikají nitrosní plyny, které přímo pozorujeme a po protřepání s vodou dokážeme acidobazickým indikátorem změnu pH.

#### **Katalytická oxidace alkoholu platinovou spirálou <sup>6</sup>**

Alkohol zahřejeme pod teplotu varu a pozorujeme žhnutí předem nahřáté platinové spirály. V alkoholu je poté možné dokázat aldehydy pomocí Schiffova činidla.

#### **Inhibice vylučování jodu z jodidu zředěnou kyselinou chlorovodíkovou za přítomnosti železných pilin <sup>8</sup>**

Kyselina chlorovodíková za přítomnosti železného prachu nebo pilin nevytěsňuje jod z jodidu, což dokazujeme negativní zkouškou se škrobovým mazem.

#### **Model výroby kyseliny sírové kontaktním způsobem <sup>23</sup>**

Pokus znázorňující celý proces výroby kyseliny sírové s poměrně komplikovanou aparaturou. Síra je spalována pod převrácenou nálevkou, vznikající oxid je odsáván vývěvou (nebo lze získat oxid siřičitý promýváním nasávaného vzduchu nasyceným roztokem kyseliny siřičité) a prochází přes žhavený katalyzátor - oxid chromitý; vznik oxidu sírového se dokazuje vznikem zákalu v promývačce s roztokem chloridu barnatého.

#### **Katalýza vodou - jodo-hliníková sopka <sup>18. 23. 25</sup>**

Efektívní pokus smíchaného rozetřeného jodu a práškového hliníku, doprovázený světelnými efekty a fialovým dýmem unikajícího jodu.

#### **Katalýza vodou - zinek+dusičnan amonný+chlorid amonný - sopka <sup>Banýr -</sup>**

ústní sdělení

## příloha A – původní diplomová práce

Efekttní pokus, kdy po smíchání chemikálií a přikápnutí vody dojde k samovznícení směsi, jejíž hoření je provázeno pěknými světlenými efekty. Přídavkem dusičnanů kovů barvících plamen vytvoříme rozličné Bengálské ohně.

### **Fotoindukovaná superhydrofilnost oxidu titaničitého**

Pokus demonstrující hydrofilnost dlaždice HydroTec® neaktivní a aktivované UV zářením. Porovnáva obsah smáčené plochy daným objemem vody. Pokus vhodný především pro projektové vyučování.

### **Oxidační účinky fotokatalytických povrchů**

Pokus demonstrující oxidační účinky povrchů pokrytých oxidem titaničtým - vlivem UV záření dojde k úplné oxidaci methylenové modře na bezbarvý produkt a odbarvení roztoku. Průkazná je i oxidace jodu z jodidu dokazovaná zkouškou se škrobovým mazem. Pokus vhodný především pro projektové vyučování.

## **ENZYMOVÁ KATALÝZA**

### **Rozklad škrobu slinnou amylasou** <sup>4. 7. 15. 18. 25</sup>

Pokus, který je standardní součástí učebnic u výkladu enzymů. Postup rozkladu škrobu se detekuje jodem, nebo se využije pouze chuťového efektu při žvýkání chleba.

### **Rozklad škrobu amylasami klíčícího ječmene I.** <sup>11</sup>

Na želatinovou plotnu s malým obsahem škrobu umístíme naklíčená zrna ječmene, po nedlouhé expozici je odstraníme a zředěným roztokem jodu „vyvoláme negativ“ - místa pod obilkami neobsahující škrob zůstanou bílá.

### **Rozklad škrobu amylasami klíčícího ječmene II.** <sup>17</sup>

Porovnání účinků  $\alpha$ - a  $\beta$ - amylas v extraktu z naklíčených zrn ječmene.

### **Důkaz křenové peroxidasy** <sup>19</sup>

Aktivitu křenové peroxidasy dokladujeme vznikem barevných oxidačních produktů z různých organických látek (fenol, anilin, kresol) oxidací peroxidem vodíku.

#### **Detekce oxidas a peroxidas v zelném košťálu<sup>4,7,17</sup>**

Peroxidasy oxidují peroxidem vodíku hydrochinon, což se projeví zbarvením roztoku

#### **Dehydrogenasy pekařských kvasinek<sup>17</sup>**

Suspenze pekařských kvasinek zredukuje vodíkem ze sacharosy barvivo methylenovou modř na bezbarvou leukoformu.

#### **Důkaz dehydrogenasy v čerstvém kravském mléce<sup>17</sup>**

Dehydrogenasa kravského mléka přenesse vodík z formaldehydu na indikátor methylenovou modř, který tak přejde na bezbarvou leukoformu.

#### **Rozklad močoviny ureasou ze sojové mouky<sup>4,7,8</sup>**

Ureasa obsažená v sojových bobech rozkládá močovinu za vzniku amoniaku, což se projeví změnou pH roztoku, kterou detekujeme bromthymolovou modří.

#### **Působení trypsinu na želatinovou plotnu<sup>9</sup>**

Demonstrace aktivity enzymu - dojde k rozložení želatiny, detekováno poklesem zrn písku.

### **POKUSY BEZ USPOKOJIVÉHO VÝSLEDKU - nezařazeny do kartotéky**

#### **Homogenní inhibice urotropincem<sup>12</sup>**

Pokus porovnává reakci železných hoblin s kyselinou sírovou za/bez přítomnosti urotropinu. Při provádění pokusu jsem nepozoroval žádný rozdíl v průběhu reakce obou směsí.

### **Rozklad peroxidu na oxidu mangančitým - výroba raket <sup>14</sup>**

Pokus byl výjimečný využitím tlakové síly vznikajícího kyslíku pro vystřelování zápalek jako „raket“. Aparatura provedená dle návrhu byla nefunkční, žákovská práce s koncentrovaným peroxidem vodíku je navíc z bezpečnostních důvodů vyloučená.

### **Katalytická syntéza dusíku s vodíkem <sup>25</sup>**

Směs dusíku s vodíkem provádíme přes žhavený katalyzátor - ceriové železo (kamínky do zapalovače), vzniká amoniak, který dokážeme v promývačce fenolftaleinem. Důkaz vznikajícího amoniaku byl přes opakování pokusu negativní.

### **Vliv enzymů pracích prostředků na vařené vejce <sup>9</sup>**

Enzymy obsažené v pracích prostředcích působí na bílkoviny vařeného vejce - ovšem bez pozorovatelného efektu.



## 6 Zhotovení kartotéky

### 6.1 Obsah kartotéky chemických školních pokusů

Úvodem je nezbytné zdůraznit rozdíl mezi osobní kartotékou pokusů učitele a kartotékou sloužící jako zdroj pro výběr pokusů, tj. takovou, jaká je cílem této práce. Osobní kartotéka učitele je vedena nejčastěji formou jednotlivých karet s pokusy a obsahuje např. zařazení pokusu do určité vyučovací hodiny, metodické zpracování a modelové přípravy na vyučovací hodinu tak, jak uvádí Černá<sup>3</sup>, nebo formu výuky, individuální poznámky o navázkách a organizaci - blíže viz. Pachman a kol.<sup>20</sup>, Klečková a kol.<sup>14</sup>. Tyto údaje naopak nejsou součástí kartotéky, která se snaží shromažďovat publikované pokusy a nabízet je k využití, neboť představa zařazení pokusu do výuky je pochopitelně dosti individuální. Tato kartotéka by měla mimo detailního popisu postupu práce obsahovat také názornou ukázkou úspěšně provedeného pokusu, aby se učitel snadno a rychle v pokusu zorientoval a vyhledal tak pokus, který přinese v postupu ve výchovně-vzdělávacím procesu největší efekt. Snažil jsem se proto všechny pokusy patřičně fotograficky zdokumentovat; v nemálo případech předpokládám, že se fotografie dají použít i pro prezentaci přímo ve výuce.

Většina publikací, z nichž jsem čerpal náměty k pokusům, označuje pokusy dle nejrůznějších kritérií bezpečnosti a náročnosti a to slovně či za použití piktogramů. Nejčastěji uváděným údajem v hlavičce pokusu je doba potřebná k provedení pokusu, informace, zda má být pokus prováděn demonstračně či frontálně. Čtrnáctová a kol.<sup>5</sup> uvádí navíc informaci, zda je k pokusu potřebná digestoř, a označení používaných chemikálií co se týče jejich bezpečnosti. Žádná z použitých publikací neuvádí dobu potřebnou pro přípravu pokusu - což je ale v mnoha případech údaj velmi podstatný; pokus demonstrující výrobu kyseliny sírové kontaktním způsobem za použití oxidu chromitého jako katalyzátoru trvá zhruba 7 minut, sestavení aparatury a příprava chemikálií však trvá nejméně 25 minut! A bylo by zde možné uvádět všechny ostatní pokusy se složitější

aparaturou, předchozí přípravou katalyzátoru... atd.

Rozdělení pokusů na demonstrační a frontální popř. na pokusy učitelské a žakovské je dosti subjektivní, závisí na osobnosti pedagoga, počtu dětí ve třídě, kroužku, a na zvládnutí stylu práce v chemické laboratoři tou kterou skupinou. V kartotéce tyto údaje neuvádím, namísto nich obdobně jako Čtrnáctová a kol.<sup>5</sup> uvádím kategorii chemických látek užívaných pro pokus, z nichž vyplývají legislativně stanovená pravidla provádění pokusu.

Každý pokus zařazený do kartotéky tedy obsahuje tyto údaje:

- Název pokusu
- Téma, klíčová slova
- Časová náročnost
- Potřeba digestoře
- Údaje o nebezpečnosti použitých chemikálií
- Pomůcky
- Chemikálie
- Nákres aparatury - dle potřeby
- Postup práce
- Pozorované jevy fotograficky dokumentované
- Vysvětlení studovaných jevů
- Metodické poznámky, varianty pokusu

Zdrojová literatura jednotlivých pokusů je uvedena v seznamu pokusů v rámci čtvrté kapitoly této práce.

## 6.2 Forma kartotéky chemických školních pokusů

Formální stránka provedení kartotéky má stejně jako její obsah značný význam pro její celkovou úroveň. Nedostatky shledávám především ve formě uvádění chemikálií potřebných pro daný pokus.

- údaje o koncentraci - v chemické „kuchařce“ by měly být v případě uvádění koncentrací roztoků doplněny konkrétní údaje pro navážku a to zejména

v případě koncentrací molárních. Potřeba přepočítávání je v napjatém čase vyučování nesmyslná, a to platí i pro počtářsky jednodušší koncentrace udané v procentech či hmotnostním zlomku.

- množství chemikálií - je nepěkným zvykem uvádět do seznamu chemikálií jen jejich výčet, případně potřebnou koncentraci, bez udání celkového objemu/navážky, načež je potřeba celkové množství látky posčítat po vyhledání v textu pracovního postupu, což je činnost, kterou si učitel opravdu nezaslouží. Analogicky lze aplikovat obsah tohoto bodu na pomůcky k pokusu, kde by neměly chybět údaje o potřebném rozsahu teploměru, teplotě vodní lázně apod.

tedy kupř.: .. 100cm<sup>3</sup> 0,5M roztoku KNO<sub>3</sub> [5,06g/100cm<sup>3</sup>], ...

.. vodní lázeň 37°C, ...

Pro stručnost zápisů je používáno označení  $c(x)=..M$  namísto správného  $c(x)=...mol/dm^3$ .

Ve zpracované kartotéce jsem se snažil uvádět veškeré údaje v takové podobě, aby byl zápis co nejvíce přehledný, umožnil rychlý vhléd do pokusu a aby splňoval zde vytyčená kritéria.

### 6.3 Technické provedení

V současné době je již samozřejmostí, že kartotéka vytvořená jako archiv publikovaných pokusů bude v elektronické podobě, která umožní její snadné šíření, doplňování nových pokusů i případné opravy. Na stejné úrovni stojí i požadavek možnosti jejího zveřejnění prostřednictvím sítě Internet. Možností způsobu prezentace dat pomocí Internetu je více, a je třeba přihlédnout ke specifikům kartotéky a jejích potenciálních uživatelů (technické vybavení škol apod.) a pochopitelně také ke svým vlastním schopnostem řešit tyto technické otázky. Charakter dat by umožnil jejich efektivní zpracování programem databázového typu, které by oproti statickým HTML stránkám umocnilo její využití, nikoliv však natolik, aby byla vyvážena ztráta možnosti okamžitého přístupu k datům prakticky na každém počítači.

Z těchto důvodů jsem zvolil formu statických stránek, uložených na

příloha A – původní diplomová práce

kompaktním disku, který je přiložen k této práci; pokusy jsou uloženy v jednotlivých souborech formátu XHTML, kódování UTF-8 a jsou formátovány pomocí externích kaskádových stylů, což by mělo usnadnit případnou restrukturalizaci kartotéky.

## 7 Závěry

Diplomová práce “Kartotéka školních chemických pokusů na téma katalyzátory“ se v úvodu zabývá teoretickou otázkou katalyzátorů včetně diskuse některých nově zaváděných termínů. V další kapitole uvádí výsledky analýzy českých učebnic, v níž jsem zpracoval 28 knižních titulů jako reprezentativní část učebních textů pro základní a střední školy dostupných v současnosti na trhu. Kromě analýzy pojetí a obsahu tématu katalyzátory v těchto dokumentech, která mj. ukázala, že ještě stále lze v nově vydávaných učebnicích nalézt chybnou definici katalyzátorů, jsem zaměřil svou pozornost na experimentální základ tohoto tématu. V učebnicích je užíváno 14 různých pokusů, což se jeví vcelku přiměřené k celkovému počtu pokusů vypracovaných pro katalýzu, nutno však přiznat, že výběr některých pokusů není zcela vhodný. Tuto práci je možno využít jako pomůcku pro výběr vhodných pokusů.

Pro výběr experimentů do vytvářené kartotéky jsem prostudoval řadu publikací a shromáždil tak přes třicet různých pokusů a jejich variant, které je možné využít při výuce tématu katalyzátory, pokusy s fotokatalytickým působením oxidu titaničitého jsou původní.

Stěžejní část mé práce tvoří kartotéka určená učitelům jako důvěryhodný zdroj prozkoušených a fotograficky zdokumentovaných školních chemických pokusů obsahující maximum potřebných informací o pokusech v uživatelsky co možná nejpřijatelnější podobě. Tato kartotéka je přiložena k práci na kompaktním disku a je možné její zveřejnění prostřednictvím Internetu.

Věřím, že by se kartotéka mohla stát pomocníkem pro vyučující chemie  
všech stupňů.

## 8 Použitá literatura

### 8.1 Teoretické zpracování práce a zdroje pokusů

- 1.) BANÝR, J.: Praktická cvičení a úlohy z anorganické chemie. 1. vydání, Praha:Karolinum 1996, 69s.
- 2.) BANÝR, J. - BENEŠ, P. a kol.: Chemie pro střední školy. 2. vydání, Praha:SPN a.s. 2001, 160s., ISBN 80-85937-46-8
- 3.) BÁRTA, M.: Jak (ne)vyhodit školu do povětří. 1. vydání, Brno : Didaktis 2004, 96s., ISBN 80-86285-99-5
- 4.) BRAUN, M. - KRIEGER, F.: Organische Chemie. 1. vydání, München:BLV Verlagsgesellschaft mbH 1974, 200s., ISBN 3-405-11237-0
- 5.) ČERNÁ, B.: Školní pokusnictví. Brno:Masarykova univerzita 1995. 76s. ISBN 80-210-1128-9
- 6.) ČTRNÁCTOVÁ, H. - HALBYCH, J.: Didaktika a technika chemických pokusů. Praha:Univerzita Karlova 1992. 291s. ISBN 80-7066-700-1
- 7.) ČTRNÁCTOVÁ, H. - HALBYCH, J. - HUDEČEK J. - ŠÍMOVÁ, J.: Chemické pokusy pro školu a zájmovou činnost. 1. vydání, Praha:Prospektrum 2000, 296s., ISBN 80-7175-071-9
- 8.) EISNER, W. a kol.: Chemie pro střední školy 2A. 1. vydání, Praha:Scientia 1998, 191s. ISBN 80-7183-078-X
- 9.) EISNER, W.: Chemie pro střední školy 2B. Praha:Scientia 2000, ISBN 80-7183-079-8
- 10.) FUJISHIMA, A. - HASHIMOTO, K. - WATANABE, T.: TiO<sub>2</sub> Fotokatalýza, základy a aplikace. 1. vydání, Praha:Silikátový svaz 2002, 111s., ISBN 80-903113-3-4
- 11.) GRDIČOVÁ, B.: Praktikum z fyziologie rostlin. 1. vydání, Praha:SPN 1976, 344s.
- 12.) HOFMANN, V. - PACHMANN, E.: Praktická cvičení z anorganické chemie pro pedagogické fakulty. 2. vydání, Praha:SPN 1971, 172s. ISBN 14-366-71
- 13.) HOLADA, K.: Studené světlo - chemiluminiscence. Biologie - chemie - zeměpis, 2, 1993, č.5, s. 237
- 14.) JAROŠ, M. - RONEŠ, J.: Jak dělat chemické pokusy. 1.vydání. Praha:Mladá Fronta 1959. 186s.

- 15.) KLEČKOVÁ, M. - ŠINDELÁŘ, Z.: Školní pokusy z anorganické a organické chemie. Olomouc:Univerzita Palackého 1993. 113s. ISBN 80-7067-262-5
- 16.) KOUŘIL, M.: Demonstrační pokusy z obecné a anorganické chemie. 1. vydání. Praha:SPN 1985. 245s. ISBN 17-322-85
- 17.) LIBKIN, O. M.: Pokusy bez výbuchů. 1. vydání. Praha:SNTL 1983. 116s. ISBN 04-611-83
- 18.) MELICHOVÁ, Z. - HARVANOVÁ, L.: Katalyzátory vo vyučování chémie. Biologie - chemie - zeměpis, 9, 2000, č.3, s.138-140.
- 19.) NOVOTNÝ, P. - ČTRNÁCTOVÁ, H. - ZEMÁNEK, F. - SVOBODOVÁ, M. - DUŠEK, B. - SEJBAL, J.: Poznáváme chemii - učebnice pro ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií 3.díl. 1. vydání, Praha:SPN-a.s. 1996, 80s. ISBN 80-85937-40-9
- 20.) PACHMANN, E. a kol.: Speciální didaktika chemie. 1. vydání. Praha:SPN 1986. 352s. ISBN 14-487-86
- 21.) PACHMANN, E. - BANÝR, J. - HOLADA, K.: Praktická cvičení z didaktiky chemie II. 1. vydání, Praha:SPN 1968, 119s., ISBN 17-211-68
- 22.) PACHMANN, E. - VOLÍN, M.: Praktická cvičení z chemie obecné a anorganické pro posluchače DS na PI. 1. vydání, Praha:SPN 1962, 228s., ISBN 17-241-62
- 23.) PEČIVOVÁ, M. - MACHAČNÝ, J.: Školní chemické pokusy. Ústí nad Labem:Univerzita Jana Evangelisty Purkyně 1994. 55s. ISBN 80-7044-083-6
- 24.) SOLÁROVÁ, M.: Chemické pokusy pro základní a střední školu. Brno:Paído 1999, 93s. ISBN 80-85931-71-0
- 25.) TRTÍLEK, J. - HOFMANN, V. - BOROVIČKA, J.: Školní chemické pokusy. 1. vydání, Praha:SPN 1973. 312 s. Knižnice metodické literatury pro učitele. ISBN 14-541-73
- 26.) VOHLÍDAL, J.: Chemická kinetika. 1. vydání, Praha:Univerzita Karlova 2001, 186s., ISBN 80-246-0232-6
- 27.) <http://chemlearn.chem.indiana.edu/demos/TheLight.htm>
- 28.) <http://chem.lapeer.org/ChemlDocs/ElectChemCat.html>

## 8.2 Analyzované učebnice a pracovní sešity

- 1.) BANÝR, J. - BENEŠ, P. a kol.: Chemie pro střední školy. 2. vydání, Praha:SPN a.s. 2001, 160s., ISBN 80-85937-46-8
- 2.) BENEŠ, P. - PUMPR, V. - BANÝR, J.: Základy chemie 2: pro 2. stupeň

příloha A – původní diplomová práce

- základní školy, nižší ročníky víceletých gymnázií a střední školy. 1. vydání, Praha: Fortuna 1995, 96s., ISBN 80-7168-205-5
- 3.) BENEŠ, P. - PUMPR, V. - BANÝR, J.: Základy chemie 1: pro 2. stupeň základní školy, nižší ročníky víceletých gymnázií a střední školy. 3. vydání, Praha: Fortuna 2002, ISBN 80-7168-720-0
  - 4.) BÍLEK, M. - RYCHTERA, J.: Chemie krok za krokem. 1. vydání, Praha: Mobby Dick 1999, 200s., ISBN 80-86237-03-6
  - 5.) BÍLEK, M. - RYCHTERA, J.: Chemie na každém kroku. 1. vydání, Praha: Mobby Dick 2000, ISBN 80-86237-05-2
  - 6.) BLAŽEK, J. - FABINI, J.: Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření. Praha: SPN a.s. 1999, ISBN 80-7235-104-4
  - 7.) ČTRNÁCTOVÁ, H. - VAŇKOVÁ, V. - KLÍMOVÁ, H.: Co víme o organických sloučeninách a průběhu chemických reakcí - pracovní sešit pro žáky 8. ročníku základní školy a pro žáky nižších ročníků gymnázií. Praha: Prospektrum 1994, 32s., ISBN 80-85431-99-8
  - 8.) ČTRNÁCTOVÁ, H. - ZEMÁNEK, F. - SVOBODOVÁ, M. - DUŠEK, B.: Poznáváme chemii - učebnice pro ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií 2.díl. 1. vydání, Praha: SPN a.s. 1995, 72s., ISBN 80-85937-07-7
  - 9.) ČTRNÁCTOVÁ, H. - ZEMÁNEK, F. - SVOBODOVÁ, M. - DUŠEK, B.: Chemie pro 8. ročník základní školy. 1. vydání, Praha: SPN a.s. 2000, 144s., ISBN 80-7235-011-0
  - 10.) ČTRNÁCTOVÁ, H. - ZEMÁNEK, F. - SVOBODOVÁ, M. - DUŠEK, B. - SEJBAL, J.: Poznáváme chemii - učebnice pro ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií 3.díl. 1. vydání, Praha: SPN-a.s. 1996, 80s. ISBN 80-85937-40-9
  - 11.) EISNER, W. a kol.: Chemie pro střední školy 1A. 1. vydání, Praha: Scientia 1996, 165s. ISBN 80-7183-043-7
  - 12.) EISNER, W. a kol.: Chemie pro střední školy 2A. 1. vydání, Praha: Scientia 1998, 191s. ISBN 80-7183-078-X
  - 13.) EISNER, W.: Chemie pro střední školy 2B. Praha: Scientia 2000, ISBN 80-7183-079-8
  - 14.) FLEMR, V. - DUŠEK, B.: Chemie I : (obecná a anorganická) pro gymnázia. 1. vydání, Praha: SPN a.s. 2001, 120s., ISBN 80-7235-147-8
  - 15.) KARGER, I. - PEČIVOVÁ, D. - PEČ, P.: Chemie II pro 9. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Olomouc: Prodos 1999, ISBN 80-7230-036-9
  - 16.) KLEČKOVÁ, M. - LOS, P.: Seminář a praktikum z chemie pro 2. stupeň ZŠ. 1. vydání, Praha: SPN a.s. 2003, 88s., ISBN 80-7235-160-5



příloha A – původní diplomová práce

- 17.) KLOUDA, P.: Studijní text pro SPŠCHT - Fyzikální chemie. 2. vydání, Ostrava:Nakladatelství Pavel Klouda 2002, 140s., ISBN 80-86369-06-4
- 18.) KOLÁŘ, K. - KODÍČEK, M. - POSPÍŠIL, J.: Chemie organická a biochemie pro gymnázia. Praha:SPN a.s. 2000, ISBN 80-85937-49-2
- 19.) KOVALČÍKOVÁ, T.: Studijní text pro SPŠCHT - Obecná a anorganická chemie. 2. vydání, Ostrava:Nakladatelství Pavel Klouda 2001, 120s., ISBN 80-86369-03-X
- 20.) LOS, P. - HEJSKOVÁ, J. - KLEČKOVÁ, M.: Chemie se nebojíme - 2. díl chemie pro ZŠ. Praha:Scientia 1997, ISBN 80-7183-027-5
- 21.) MAREČEK, A. - HONZA, J.: Chemie pro 4-letá gymnázia 1.díl. Olomouc:Nakladatelství Olomouc 2002, ISBN 80-7182-055-5
- 22.) MAREČEK, A. - HONZA, J.: Chemie pro 4-letá gymnázia 3.díl. Olomouc:Nakladatelství Olomouc 2000, ISBN 80-7182-057-1
- 23.) NOVOTNÝ, P. - SEJBAL, J. - ZEMÁNEK, F. - SVOBODOVÁ, M. - ČTRNÁCTOVÁ, H. - DUŠEK, B.: Chemie pro devátý ročník ZŠ. 1. vydání, Praha:SPN a.s. 1998, 136s., ISBN 80-7235-031-5
- 24.) PEČ, P. - PEČOVÁ, D.: Učebnice středoškolské chemie a biochemie. 1. vydání, Olomouc:Nakladatelství Olomouc 2001, 518s., ISBN 80-7182-034-2
- 25.) STRAKA, P.: Obecná chemie. 1. vydání, Praha:Paseka 1995 142s. ISBN 80-7185-003-9
- 26.) ŠRÁMEK, V.: Obecná a anorganická chemie. Olomouc:Nakladatelství Olomouc, ISBN 80-7182-099-7
- 27.) VACÍK, J. a kol.: Chemie obecná a anorganická pro gymnázia I. 1. vydání, Praha : SPN a.s. 1995, 248s.
- 28.) VODRÁŽKA, Z.: Biochemie pro studenty středních škol a všechny, které láká tajemství živé přírody 1. vydání, Praha:Scientia 1998, 161s., ISBN 80-7183-083-6