

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra učitelství a didaktiky chemie

Studijní program: Chemie
Studijní obor: Chemie a biologie se zaměřením na vzdělávání



Marie Tomanová

**Materiály pro výuku tématu Aromatické sloučeniny na
gymnáziích**
**Materials for education on the theme Aromatic compounds at
secondary schools**

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Renata Šulcová, Ph.D.

Praha, 2011

Na tomto místě bych ráda poděkovala své školitelce RNDr. Renatě Šulcové Ph.D. za pomoc při psaní mé bakalářské práce, odborné rady, obětavý přístup, podporu a velkou trpělivost.

V neposlední řadě patří poděkování mé rodině za jejich podporu při mých studiích.

Klíčová slova: výukové materiály k tématu, prezentace, porovnání vybraného tématu v učebnicích

Keywords: teaching materials, presentation, comparing the chosen theme in textbooks

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu. Souhlasím se zapůjčením své bakalářské práce ke studijním účelům.

V Praze, 5. 6. 2011

Marie Tomanová

Seznam použitých zkratk:

G	gymnázium
PS	pracovní sešit
RVP	rámcový vzdělávací program
SŠ	střední škola
SŠ P	středoškolský přehled
SŠ U	středoškolská učebnice
ŠVP	školní vzdělávací program
U	učebnice
ZŠ	základní škola
ZŠ U	základoškolská učebnice
ZV	základní vzdělávání

Obsah

1 ÚVOD.....	3
2 CÍLE	3
3 KURIKULÁRNÍ DOKUMENTY	5
4 TEORETICKÁ ČÁST	7
4.1 Úvod.....	7
4.2 Obecná kritéria pro hodnocení učebnic chemie	7
4.3 Další kritéria pro hodnocení učebnic chemie	8
4.4 Seznam vybraných hodnocených učebnic	10
4.5 Vyhodnocení	11
4.6 Výsledky hodnocení	14
4.7 Diskuze k výsledkům hodnocení.....	14
4.8 Pojetí praktické části práce.....	20
5 PRAKTICKÁ ČÁST	21
5.1 Úvod.....	21
5.2 Proč se aromatické sloučeniny nazývají „aromatické“?	21
5.3 Kdo byl Friedrich August Kekulé von Stradonitz?	22
5.4 Které sloučeniny jsou tedy aromatické?	23
5.5 Vlastnosti aromatických sloučenin	23
5.6 Zdroje aromatických uhlovodíků	25
5.7 Klasifikace aromatických sloučenin	25
5.8 Názvosloví aromatických uhlovodíků	26
5.9 Aromatické nanomateriály	28
5.10 Reakce aromatických uhlovodíků	29
5.11 Aromatická léčiva a sulfonamidy	32
5.12 Substituční efekty	33
5.12.1 Indukční efekt	33
5.12.2 Mezomerní efekt	34
5.13 Nejvýznamnější zástupci aromatických uhlovodíků	36
5.14 Otázky a úkoly.....	36
5.15 Laboratorní pokusy	37
6 METODICKÉ POKYNY K VÝUKOVÉMU MATERIÁLU.....	38
6.1 Úvod.....	38
6.2 Cíle.....	38
6.3 Práce s učivem.....	38
6.4 Obsah učiva	40
6.5 Odpovědi na zadané otázky	40

6.6 Doplnující zdroje pro učitele.....	41
7 PREZENTACE A METODICKÉ POKYNY K JEDNOTLIVÝM SNÍMKŮM.....	42
7.1 Vybrané snímky z prezentace	42
7.2 Metodická příručka k prezentaci	43
7.3 Návrh na rozdělení tematického celku Aromatické sloučeniny do vyučovacích hodin	45
8 ZÁVĚR.....	46
9 SHRNU TÍ	47
SUMMARY	47
10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ.....	49
11 PŘÍLOHY	52
CD - prezentace.....	52

1 ÚVOD

Učit a vzdělávat někoho mě vždycky velmi bavilo, ale představě být učitelkou jsem se bránila. Avšak když jsem se rozhodovala, co půjdu studovat, uvědomila jsem si, že by nebylo moudré nezabývat se tím, co mě baví a co mi jde.

Bakalářskou práci jsem proto pojala jako příležitost připravit si materiály pro výuku vybraného tématu z chemie. Tomuto tématu jsem chtěla věnovat dostatek času, prostudovat ho a vytvořit souhrnný text, který by doplnil všechny dosavadní středoškolské učebnice chemie tím, že by předložené poznatky o daném tématu byly kompletní a obsahovaly dostatek srozumitelně podaných informací.

Mnohé tematické celky z organické chemie, jako například sacharidy, lipidy nebo bílkoviny, již byly v rámci bakalářských prací zpracovány. Zvolila jsem si téma Aromatické sloučeniny, a dále se konkrétněji zabývala pouze Aromatickými uhlovodíky, protože se jedná o jednu ze základních a ucelených kapitol nutných k pochopení učiva organická chemie.

2 CÍLE

Prvním cílem mé práce je porovnat, jak je téma Aromatické sloučeniny zpracováno v jednotlivých středoškolských a základěškolských učebnicích. Podle kritérií, která si stanovím, učebnice ohodnotit a výsledky zpracovat do grafů.

Jako další cíl práce budou na základě těchto poznatků vytvořeny výukové materiály pro gymnázia na téma Aromatické sloučeniny, včetně metodických pokynů pro učitele.

Zároveň bude téma zpracováno v prezentacích a každý snímek doplněn metodickými pokyny tak, aby prezentace mohla sloužit každému učiteli chemie s ohledem na hlavní cíle kurikulárních dokumentů, tedy rozvíjení klíčových kompetencí žáků v provázanosti s obsahem učiva. [1, 2]

Práce bude zaměřená především na obsah tematického celku Aromatické sloučeniny probíraného na gymnáziích. Nadstandardní části učiva budou v textu odlišeny jiným typem písma proto, aby vyhovovaly požadavkům pro různé zaměření gymnázií (humanitní, přírodovědné,...)

Na tuto práci bych ráda navázala v magisterském studiu učitelství, kdy bych výukové materiály vyzkoušela v praxi v rámci diplomové práce a doplnila je didaktickými materiály vhodnými k upevnění a prohloubení učiva.

3 KURIKULÁRNÍ DOKUMENTY

V posledních šesti letech se do škol zavádí nový systém kurikulárních dokumentů, které jsou závazné pro každou školu a pro každého učitele. Měl by se v nich proto orientovat a znát je, mít na mysli jejich zásady při koncepci svých vyučovacích hodin či při případné tvorbě učebnic a jiných učebních pomůcek.

Kurikulární dokumenty jsou vytvořeny na dvou úrovních – státní a školní. Státní úroveň představují rámcové vzdělávací programy (RVP) [1, 2], školní úroveň představují školní vzdělávací programy (ŠVP). ŠVP si vytváří každá škola podle zásad stanovených v příslušném RVP.

Rámcové vzdělávací programy vycházejí z nové strategie vzdělávání, která zdůrazňuje klíčové kompetence, jejich provázanost se vzdělávacím obsahem a uplatnění získaných vědomostí a dovedností v praktickém životě. Vycházejí z koncepce celoživotního učení a formulují očekávanou úroveň vzdělání stanovenou pro všechny absolventy jednotlivých etap vzdělávání. Podporují pedagogickou autonomii škol a profesní odpovědnost učitelů za výsledky vzdělávání. [3]

Rámcové vzdělávací programy vymezují očekávané výstupy a učivo a zavádějí takzvaná průřezová témata. [1, 2]

Vymezené klíčové kompetence, které má vzdělávání rozvíjet, jsou kompetence k učení, k řešení problémů, komunikativní kompetence, dále kompetence sociální a personální, občanské, na gymnáziích kompetence k podnikavosti a na základní škole kompetence pracovní.

Vzdělávací obor chemie je v RVP pro základní vzdělávání (ZV) i v RVP pro gymnázia (G) řazen do vzdělávací oblasti Člověk a příroda.

V RVP ZV spadá téma Aromatické sloučeniny do celku Organické sloučeniny, kde je popsán učivo a očekávané výstupy. Konkrétně je tematický celek Aromatické sloučeniny probírán v rámci učiva Uhlovodíky.

UČIVO DLE RVP ZV	OČEKÁVANÉ VÝSTUPY ŽÁKA
uhlovodíky – příklady v praxi významných alkanů, uhlovodíků s vícenásobnými vazbami a aromatických uhlovodíků	žák rozliší nejjednodušší uhlovodíky, uvede jejich zdroje, vlastnosti a použití
paliva – ropa, uhlí, zemní plyn, průmyslově vyráběná paliva	žák zhodnotí užívání fosilních paliv a vyráběných paliv jako zdrojů energie a uvede příklady produktů průmyslového zpracování ropy
deriváty uhlovodíků – příklady v praxi významných alkoholů a karboxylových kyselin	žák rozliší vybrané deriváty uhlovodíků, uvede jejich zdroje, vlastnosti a použití
přírodní látky – zdroje, vlastnosti a příklady funkcí bílkovin, tuků, sacharidů a vitaminů v lidském těle	žák se orientuje ve výchozích látkách a produktech fotosyntézy a koncových produktů biochemického zpracování, především bílkovin, tuků, sacharidů. Určí podmínky postačující pro aktivní fotosyntézu

V RVP G spadá téma Aromatické sloučeniny do celku Organická chemie, kde je popsán učivo a očekávané výstupy. Aromatické uhlovodíky jsou probírány v rámci učiva Uhlovodíky, deriváty aromatických uhlovodíků jsou vyučovány v učivu Deriváty uhlovodíků a jejich klasifikace. Aromatické sloučeniny zahrnují i některé heterocyklické sloučeniny, které spadají pod učivo Heterocyklické sloučeniny. Některé aromatické látky, jako například sulfonamidy, jsou zahrnuty v učivu Léčiva, pesticidy, barviva a detergenty, a další látky, například polystyren, se řadí mezi Syntetické makromolekulární látky.

UČIVO DLE RVP G	OČEKÁVANÉ VÝSTUPY ŽÁKA
uhlovodíky a jejich klasifikace	žák zhodnotí vlastnosti atomu uhlíku významné pro strukturu organických sloučenin
deriváty uhlovodíků a jejich klasifikace	žák aplikuje pravidla systematického názvosloví organické chemie při popisu sloučenin s možností využití triviálních názvů
heterocyklické sloučeniny	žák charakterizuje základní skupiny organických sloučenin a jejich významné zástupce, zhodnotí jejich surovinové zdroje, využití v praxi a vliv na životní prostředí
syntetické makromolekulární látky	žák aplikuje znalosti o průběhu organických reakcí na konkrétních příkladech
léčiva, pesticidy, barviva a detergenty	žák využívá znalosti základů kvalitativní a kvantitativní analýzy k pochopení jejich praktického významu v organické chemii

4 TEORETICKÁ ČÁST

4.1 Úvod

Nejprve jsou stanovena kritéria pro hodnocení učebnic chemie. Ta jsou následně specifikována a je určen jejich obsah. Poté se podle těchto kritérií hodnotí vybrané učebnice pro základní a střední školy. Výsledky hodnocení zpracované do dvou grafů jsou na závěr diskutovány.

4.2 Obecná kritéria pro hodnocení učebnic chemie

Pro hodnocení tématu Aromatické sloučeniny v učebnicích pro ZŠ i G byla po inspiraci [4, 5] stanovena kritéria vlastní, která by měla dobrá učebnice splňovat. Ke každému kritériu je uvedeno, proč je zrovna tento faktor pro učebnici důležitý a jakým způsobem zlepšuje a usnadňuje pochopení učiva.

Přehlednost

V tomto kritériu jsou hodnoceny takové faktory, jako je členění textu do odstavců, nadpisy, tabulky, zvýraznění důležitých informací a nových pojmů, grafické symboly a postranní lišty, které jsou důležité pro lepší orientaci v učivu.

Logika uspořádání

V kritériu Logika uspořádání je hodnoceno, jestli jsou jednotlivé části tématu řazeny za sebou tak, aby dávaly smysl a aby na sebe navazovaly. To znamená, že učivo začíná obecnými charakteristikami a vlastnostmi, a teprve poté jsou rozebírány konkrétnější body. U základoškolských učebnic je dále je hodnoceno, zda mají na konci kapitoly shrnutí. (SŠ učebnice shrnutí nemívají.)

Pokusy, laboratorní práce

Zde je hodnoceno, zda jsou v učebnici zahrnuty pokusy a laboratorní práce. K plnému osvojení daného problému patří i potřeba si učivo „osahat“, především v chemii, a propojit tak teoretickou složku vzdělávání s experimentální. Spojování teorie s praxí je jednou z didaktických zásad učitele.

Opakovací a ověřovací otázky, náměty k diskusi

Toto kritérium je zaměřeno na to, jestli učebnice obsahují otázky motivující žáka zamyslet se, zda si pamatuje učivo již dříve probírané (na které se nyní navazuje) či jestli pochopil učivo právě vysvětlené.

Zajímavosti a vazba na reálný život.

Zajímavosti ožíví učivo, motivují žáka a usnadňují zapamatování problému. Je důležité poukazovat na souvislosti mezi školním učivem a běžným životem. Tento druh informací může zaujmout i žáky, pro které chemie není příliš oblíbený předmět a motivovat je tak k dalšímu učení.

Množství informací

Toto kritérium si všímá množství informací v textu učebnice. U učebnic pro SŠ je pozitivně hodnoceno větší množství poznatků.

Obrázky

Obrázky doplňují a vysvětlují problematiku náročnější na abstraktní myšlení, jako je prostorová představivost. Umožňují jednoduše vysvětlit uspořádání pokusu či jeho výsledek (barevné reakce) a celkově oživují text. Zařazení vizuálních podnětů v textu usnadňuje zapamatování učiva. Vzorce chemických sloučenin a zápisy chemických rovnic v textu nejsou chápány jako obrázky.

4.3 Další kritéria pro hodnocení učebnic chemie

Kromě výše uvedených kritérií je ještě speciálně u učebnic pro ZŠ hodnoceno, zda v příslušném pracovním sešitě obsahují téma Aromatické uhlovodíky (a), a u učebnic pro SŠ je hodnoceno, zda vyhovují požadavkům k maturitě (b).

a) Učebnice pro základní školy

V pracovním sešitě je obsaženo téma Aromatické uhlovodíky. Pokud učebnice pracovní sešit nemá, tak u ní toto kritérium vůbec není hodnoceno. (Středoškolské učebnice pracovní sešity nemívají, proto se na ně tento bod nevztahuje).

b) Učebnice pro střední školy

Zde je hodnoceno, zda učebnice vyhovuje či nevyhovuje požadavkům k maturitě, a to dle Katalogu požadavků zkoušek společné části maturitní zkoušky platného od školního roku

2009/2010 [6]. Podle tohoto dokumentu jsou formulovány maturitní požadavky v tematickém okruhu Uhlovodíky v kapitole Organická chemie následujícím způsobem:

Uhlovodíky

Žák dovede

- charakterizovat uhlovodíky, popsat alkany, alkeny, alkyny a areny, používat názvosloví, popsat zdroje uhlovodíků a jejich zpracování
- popsat řetězcovou a geometrickou izomerii alkanů a alkenů, fyzikální vlastnosti uhlovodíků, rozlišit substituční, adiční, eliminační a polymerační reakce uhlovodíků, uvést metody jejich přípravy, popsat toxické působení arenů
- vysvětlit změny teploty varu v homologické řadě alkanů
- popsat a vysvětlit průběh chlorace methanu, katalytické dehydrogenace ethanu, adice chloru, chlorovodíku a vody na ethen a ethyn a substituční reakce benzenu (chlorace, nitrace apod.)
- popsat výrobu plastů (PE, PP, PS) a další průmyslové využití uhlovodíků
- popsat a vysvětlit negativní působení uhlovodíků na životní prostředí (ropné havárie)

Dále jsou v katalogu odděleny zvlášť témata Heterocyklické sloučeniny a Vybrané organické látky v prostředí kolem nás, zahrnující aplikované deriváty z běžného života (pesticidy, plasty, barviva, léčiva, drogy) [6].

Učebnice nebyly hodnoceny jako celek, ale pouze ta část, která se týká tématu mé bakalářské práce – tedy aromatické sloučeniny.

Kritéria nezahrnují hodnocení správnosti obsahu.

Podle toho, jak přesně učebnice dané kritérium splňují, byly obodovány. Číslo 1 bylo přiřazeno učebnicím, které kritériu vyhovují, číslo 0 těm, které ho nespĺňují, a hodnota 0,5 byla přiřazena učebnicím, které kritérium splňují jen částečně. U každé učebnice byly sečteny body a výsledek vydělen počtem kritérií, která má učebnice splňovat.

Zvlášť byly hodnoceny učebnice pro základní a střední školy.

Jedno z hodnocených kritérií u základoškolských učebnic bylo, jestli je v pracovním sešitě obsaženo téma Aromatické uhlovodíky. Pokud učebnice pracovní sešit nemá, tak u ní toto

kritérium hodnoceno nebylo. V tabulce se zdrojovými materiály (Tab. 1 – str. 12) ke grafu Výsledné hodnocení učebnic pro ZŠ (Graf 1 – str. 12) je tento fakt zanesen jako pomlčka. Žáci středních škol nemají k dispozici jen učebnice, ale i různé přehledy. Přehledy nemají za cíl poskytovat studentům náměty na laboratorní práce, ověřovací a opakovací otázky či je informovat o různých zajímavostech. Jejich účelem je shrnout obsah učiva. Proto do jejich hodnocení tato kritéria nebyla zahrnuta. V tabulce se zdrojovými materiály (Tab. 2 – str. 13) ke grafu Výsledné hodnocení učebnic a přehledů pro G a SŠ (Graf 2 – str. 13) je tento fakt zanesen jako pomlčka.

Konkrétně se jedná o tyto přehledy středoškolského učiva:

- SŠ P1 BENEŠOVÁ, M., SATRAPOVÁ, H. *Odmaturuj z chemie*. 1. vydání, Brno: Didaktis, 2002.
- SŠ P2 PUMPR V., ADAMEC M., BENEŠ P., SCHEUEROVÁ V. *Základy přírodovědného vzdělávání pro SOŠ a SOU, chemie*. Praha: Fortuna, 2008.
- SŠ P3 VACÍK, J. a kol. *Přehled středoškolské chemie*. 2. vydání, Praha: SPN, a. s., 1990.

4.4 Seznam vybraných hodnocených učebnic

Učebnice pro ZŠ [7, 8, 9, 10, 11, 12]: (v seznamu označeny ZŠ U)

- ZŠ U1 BENEŠ, P., PUMPR, V., BANÝR, J. *Základy chemie II*. 3. vydání, Praha: Fortuna, 2003.
- ZŠ U2 BÍLEK, M., RYCHTERA, J. *Chemie na každém kroku*. 1. vydání, Praha: Moby Dick, 2000.
- ZŠ U3 LOS, P., HEJSKOVÁ, J., KLEČKOVÁ, M. *Chemie se nebojíme, 2. díl chemie pro základní školu*. 1. vydání, Praha: Scientia, 1996.
- ZŠ U4 NOVOTNÝ, P., SEJBAL, J., ZEMÁNEK, F., SVOBODOVÁ, M., ČTRNÁCTOVÁ, H., DUŠEK, B. *Chemie pro 9. ročník ZŠ*. Praha: SPN, a. s., 1998.
- ZŠ U5 PEČOVÁ, D., KARGER, I., PEČ, P. *Chemie II pro 9. ročník ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií*. Olomouc: Prodos, 1999.
- ZŠ U6 ŠKODA, J., DOULÍK, P. *Chemie 8, učebnice pro ZŠ a víceletá gymnázia*. 1. vydání, Plzeň: Fraus, 2007.

Pracovní sešity pro ZŠ [13, 14, 15, 16]: (v seznamu označeny PS č. = číslo učebnice, ke které patří)

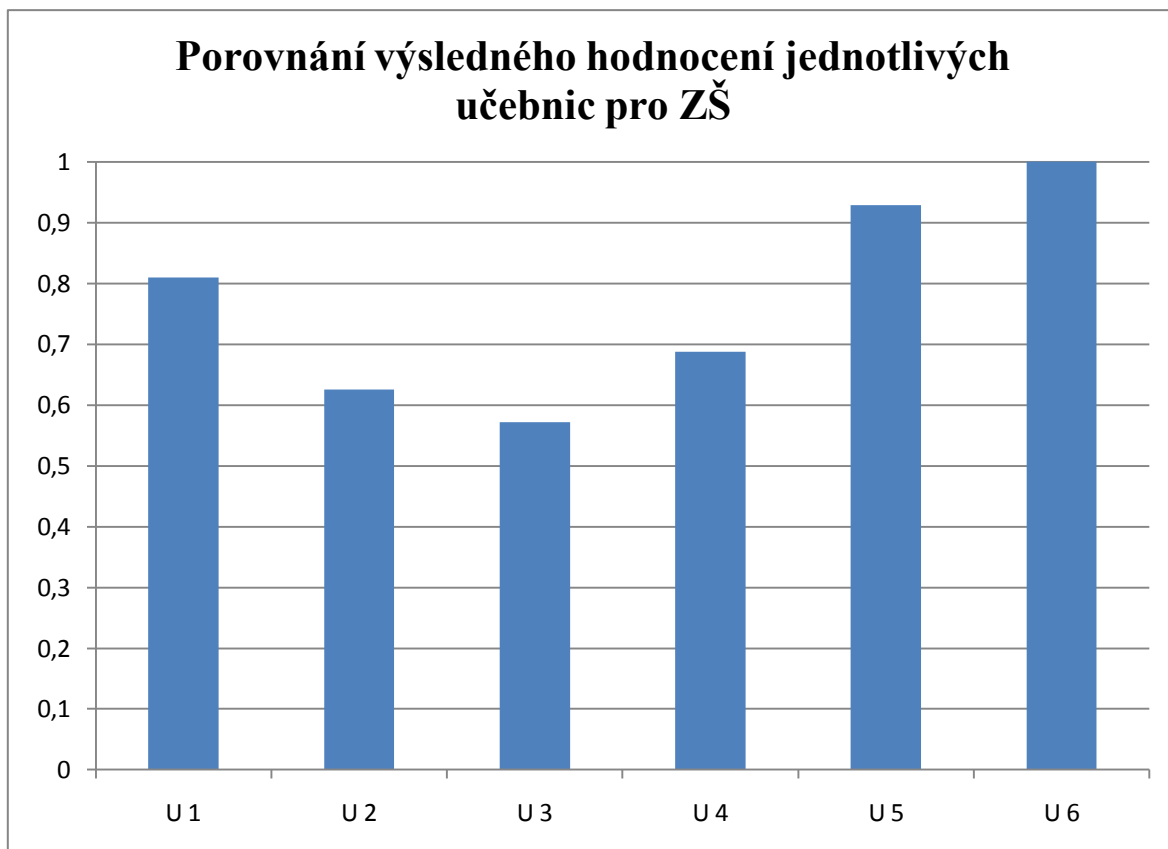
- PS 1 BENEŠ, P., PUMPR, V., BANÝR, J. *Základy praktické chemie II*. 1. vydání, Praha: Fortuna, 2000.
- PS 2 BÍLEK, M., RYCHTERA, J. *Laboratorní cvičení k učebnici Chemie na každém kroku*. 1. vydání, Praha: Moby Dick, 2000.
- PS 4 NOVOTNÝ, P., SEJBAL, J., ZEMÁNEK, F., SVOBODOVÁ, M., ČTRNÁCTOVÁ, H. *Pracovní sešit pro 9. ročník*. Praha: SPN, a. s., 1999.
- PS 6 ŠMÍDL, M., DOULÍK, P., ŠKODA, J. *Chemie, pracovní sešit pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vydání, Plzeň: Fraus, 2007.

Učebnice a přehledy pro G a SŠ [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] (v seznamu označeny SŠ U, SŠ P):

- SŠ P1 BENEŠOVÁ, M., SATRAPOVÁ, H. *Odmaturuj z chemie*. 1. vydání, Brno: Didaktis, 2002.
- SŠ P2 PUMPR, V., ADAMEC, M., BENEŠ, P., SCHEUEROVÁ V. *Základy přírodovědného vzdělávání pro SOŠ a SOU, chemie*. Praha: Fortuna, 2008.
- SŠ P3 VACÍK, J. a kol. *Přehled středoškolské chemie*. 2. vydání, Praha: SPN, a. s., 1990.
- SŠ U1 BANÝR, J., BENEŠ, P. a kol. *Chemie pro SŠ*. 2. vydání, Praha: SPN a. s., 1999.
- SŠ U2 KOLÁŘ, K., KODÍČEK, M., POSPÍŠIL, J. *Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia*. 1. vydání, Praha: SPN, a. s., 1997.
- SŠ U3 KOTLÍK, B., RŮŽIČKOVÁ, K. *Chemie II v kostce pro střední školy*. 3. vydání, Havlíčkův Brod: Fragment, 2004.
- SŠ U4 KRATOCHVÍL, B., SVOBODA, J. *Chemie pro střední školy 2b*. 1. vydání, Praha: Scientia, 2000.
- SŠ U5 MAREČEK, A., HONZA, J. *Chemie pro čtyřletá gymnázia 2. díl*. 1. vydání, Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2000.

4.5 Vyhodnocení

Výsledky mého průzkumu učebnic byly vyneseny do dvou grafů (č. 1, 2), doplněných tabulkami se zdrojovými materiály (tab. 1, 2).

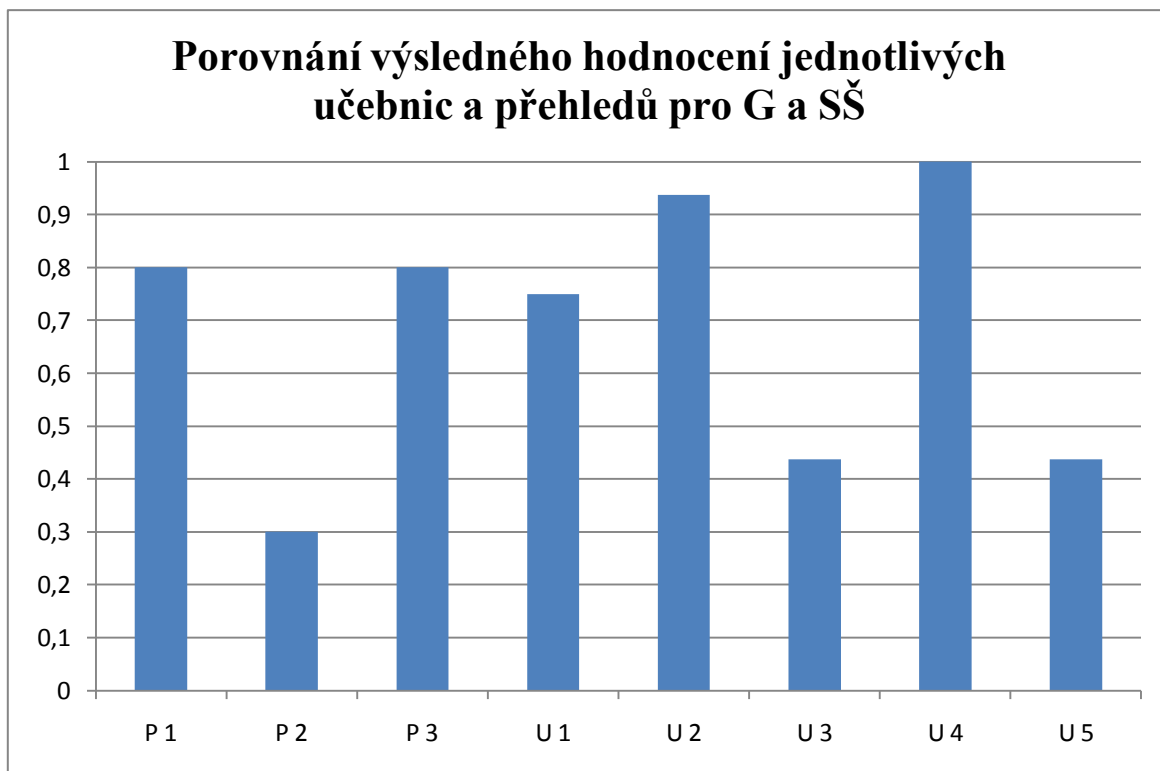


Graf 1: Výsledné hodnocení učebnic pro ZŠ

Tabulka 1

Kategorie ZŠ	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5	U 6
Přehlednost	1	0	0,5	0,5	1	1
Logika uspořádání	1	0,5	0,5	0	1	1
Obrázky	0,5	1	1	0,5	0,5	1
Pokusy, laboratorní práce	1	1	1	1	1	1
Opakovací a ověřovací otázky, náměty k diskuzi	1	1	0	1	1	1
Zajímavosti a vazba na reálný život	0	1	1	0,5	1	1
Množství informací, nadstavbové učivo	1	0,5	0	1	1	1
V pracovním sešitě je obsažené téma aromatické uhlovodíky	1	0	-	1	-	1
	0,81	0,63	0,57	0,69	0,93	1,00

U 1	BENEŠ, P., a kol. <i>Základy chemie II</i>
U 2	BÍLEK, M. a RYCHTERA, J. <i>Chemie na každém kroku</i>
U 3	LOS, P., a kol. <i>Chemie se nebojíme – 2. díl chemie pro základní školu</i>
U 4	NOVOTNÝ, P., a kol. <i>Chemie pro 9. ročník ZŠ</i>
U 5	PEČOVÁ, D., a kol. <i>Chemie II pro 9. ročník ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií</i>
U 6	ŠKODA, J. a DOULÍK, P. <i>Chemie 8 – učebnice pro ZŠ a víceletá gymnázia</i>



Graf 2: Výsledné hodnocení učebnic a přehledů pro G a SŠ

Tabulka 2

Kategorie SŠ	P 1	P 2	P 3	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5
Přehlednost	1	1	1	1	1	0,5	1	0,5
Logika uspořádání	1	0,5	1	1	1	1	1	1
Obrázky	0	0	0	0,5	1	0	1	0
Pokusy, laboratorní práce	-	-	-	1	1	0	1	0
Opakovací a ověřovací otázky, náměty k diskusi	-	-	-	1	1	0	1	0
Zajímavosti a vazba na reálný život	-	-	-	0	0,5	0	1	0
Množství informací a nadstavbové učivo	1	0	1	0,5	1	1	1	1
Vyhovuje požadavkům na maturitní zkoušku	1	0	1	1	1	1	1	1
	0,80	0,30	0,80	0,75	0,94	0,44	1,00	0,44

P 1	BENEŠOVÁ, M. a SATRAPOVÁ, H. <i>Odmaturuj z chemie</i>
P 2	PUMPR, V., a kol. <i>Základy přírodovědného vzdělávání pro SOŠ a SOU, chemie</i>
P 3	VACÍK, J. a kol. <i>Přehled středoškolské chemie</i>
U 1	BANÝR, J., a kol. <i>Chemie pro SŠ</i>
U 2	KOLÁŘ, K., a kol. <i>Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia</i>
U 3	KOTLÍK, B. a RŮŽIČKOVÁ, K. <i>Chemie II v kostce pro střední školy</i>
U 4	KRATOCHVÍL, B. a SVOBODA, J. <i>Chemie pro střední školy 2b</i>
U 5	MAREČEK, A. a HONZA, J. <i>Chemie pro čtyřletá gymnázia</i>

4.6 Výsledky hodnocení

Z učebnic pro ZŠ vyhovuje výše daným kritériím nejlépe učebnice ŠKODA, J. a DOULÍK, P. *Chemie 8 – učebnice pro ZŠ a víceletá gymnázia*. Nejméně bodů naopak získala učebnice LOS, P., a kol. *Chemie se nebojíme – 2. díl chemie pro základní školu*.

Z učebnic pro SŠ splňovala výše daná kritéria nejlépe učebnice KRATOCHVÍL, B. a SVOBODA, J. *Chemie pro střední školy 2b*. Nejmenšího počtu bodů naopak dosáhl přehled PUMPR, V., a kol. *Základy přírodovědného vzdělávání pro SOŠ a SOU, chemie*.

Podrobný přehled výsledků hodnocení jednotlivých učebnic viz dále.

4.7 Diskuze k výsledkům hodnocení

Při objektivní evaluaci učebnic [4] se pomocí speciálních koeficientů hodnotí, jestli učebnice splňuje svou funkci.

Funkce učebnice

Pro žáky jsou učebnice pramenem, z nichž se učí, tj. osvojují si nejen určité poznatky, ale i jiné složky vzdělání (dovednosti, hodnoty, normy, postoje, aj.).

Pro učitele jsou učebnice zdrojem, s jehož využitím plánují jak obsah učiva, tak i přímou prezentaci tohoto obsahu ve výuce. [4]

Učebnice stanovuje obsah učiva a rozčleňuje ho dle určitého systému do jednotlivých ročníků, zprostředkovává žákům srozumitelnou formou odborné informace, umožňuje žákům pod vedením učitele osvojovat si poznatky a procvičovat je. Také ale slouží k samostudiu a má výchovnou funkci. [4]

Smyslem existence každé učebnice je to, že se z ní někdo má něčemu učit. Učebnice by tedy měla být vytvářena nejen s ohledem na to **co** se z ní dá učit, ale i **jak** se z ní dá něčemu naučit. [4]

Předmět výzkumu učebnic

U každé učebnice se hodnotí tzv. didaktická vybavenost učebnic. To znamená, že se zkoumá, jestli učebnice obsahuje tyto strukturní komponenty [podle 4]:

- Aparát prezentace učiva, který obsahuje Verbální komponenty (výkladový text, doplňující text, shrnutí učiva, ...) a Obrazové komponenty (ilustrace, fotografie, mapy, ...),
- Aparát řídicí učení, který zahrnuje Verbální komponenty (předmluva, návod k práci s učebnicí, odlišení úrovně učiva, otázky a úkoly, ...) a Obrazové komponenty (grafické symboly, ...),
- Aparát orientační, kam patří Verbální komponenty (obsah, kapitoly, rejstřík,...).

Rozlišit ZŠ a SŠ učebnice lze mimo jiné i vizuálně. Středoškolské učebnice bývají oproti základoškolským obvykle pouze černobílé, maximálně dvoubarevné. Učebnice pro ZŠ mají větší množství obrázků, kratší odstavce a více úrovní textu.

Učebnice pro ZŠ seřazené sestupně podle získaného počtu bodů

U každé učebnice je v závorce uvedeno, jak dobře splnila dané kritérium (kolik za něj získala bodů).

Ze základoškolských učebnic vyhovuje výše daným kritériím nejlépe učebnice ŠKODA, J. a DOULÍK, P. *Chemie 8 – učebnice pro ZŠ a víceletá gymnázia*. Tato učebnice je přehledná, ale podle obsahu se v ní poměrně špatně orientuje. Ve snaze o zvýšení motivace jsou používány zavádějící nadpisy kapitol. Například kapitola Aromatické sloučeniny je nazvána Podivné vazby v kruhu. Jinak ovšem kritérium Přehlednost splňuje - text je rozdělen do odstavců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem, obsahuje postranní lištu a grafické symboly (1b.). Uspořádání učiva je logické – začíná popisem aromatického cyklu, následují zástupci aromatických sloučenin a zajímavosti. Na závěr je shrnutí učiva (1b.). Učebnice obsahuje hodně obrázků – jak kreslené, tak i fotografie (1b.) a zahrnuje též návrhy na pokusy (1b.) a opakovací a ověřovací otázky (1b.). Jako zajímavost je zde popisováno zneužívání toluenu (1b.). Učebnice obsahuje poměrně velké množství informací (1b.). V pracovním sešitě je téma Aromatické uhlovodíky zahrnuto (1b.).

PEČOVÁ, D., a kol. *Chemie II pro 9. ročník ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií* je přehledná učebnice obsahující postranní lištu, tabulku, grafické symboly a text rozdělený do odstavců. Důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem (1b.). Uspořádání

učiva je logické – začíná popisem aromatického cyklu, z pokusů (1b.) vyvozuje závěry o reaktivitě aromatických uhlovodíků. Na závěr je shrnutí učiva (1b.). Učebnice obsahuje opakovací otázky (1b.), ale pouze jeden kreslený obrázek k tématu (0,5b.). Jako zajímavost je zde uveden F. Kekulé a jeho snová představa o struktuře benzenu (1b.). Učebnice zahrnuje poměrně velké množství informací (1b.), ale nemá svůj pracovní sešit (-).

BENEŠ, P., a kol. *Základy chemie II* je přehledná učebnice, jejíž text je rozdělen do odstavců a důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem. Obsahuje tabulku (1b.). Uspořádání učiva je logické, i když neobsahuje závěrečné shrnutí (1b.). V učebnici jsou návrhy na pokusy (1b.), opakovací a ověřovací otázky (1b.), ale jen jeden fotografický obrázek k tématu (0,5b.). Nejsou zde zahrnuty zajímavosti (0b.), ale jinak je množství učiva dostačující (1b.). V pracovním sešitě je téma Aromatické uhlovodíky zahrnuto (1b.).

NOVOTNÝ, P., a kol. *Chemie pro 9. ročník ZŠ* je učebnice, jejíž text je rozdělen do odstavců a důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem. Žádné další prvky pro zpřehlednění a lepší orientaci v textu však neobsahuje (0,5b.). Kapitola učebnice má netradiční uspořádání, neboť začíná výčtem zástupců aromatických uhlovodíků (0b.). Zahrnuje opakovací a ověřovací otázky (1b.), návrhy na pokusy (také doporučuje videopokusy) (1b.), ale opět pouze jeden fotografický obrázek k tématu (0,5b.). Zajímavosti jsou v příloze, což pravděpodobně nemá očekávaný motivační efekt (0,5b.). Učebnice obsahuje poměrně velké množství učiva (z rozložení elektronů po celém aromatickém kruhu je vyvozována specifická reaktivita), (1b.). V pracovním sešitě je téma Aromatické uhlovodíky zahrnuto (1b.).

BÍLEK, M. a RYCHTERA, J. *Chemie na každém kroku* je poměrně nepřehledná učebnice. Odstavce jsou dlouhé, bez zvýraznění důležitého textu. Je zde sice postranní lišta, není ovšem téměř využita. Učebnice neobsahuje žádnou tabulku ani grafické symboly (0b.). Učebnice začíná různými zajímavostmi, což má motivační efekt. Ovšem další uspořádání příliš systematické není, základní vlastnosti aromatického kruhu jsou uvedeny v rámci pokusu a nejsou nikde dále v textu znovu uvedeny jako důležité informace. Na konci chybí shrnutí (0,5b.). Obrázky jsou kreslené i fotografie (1b.), učebnice zahrnuje pokusy (1b.) i opakovací a ověřovací otázky (1b.). Je zde hodně zajímavostí (insekticid, umělé indigo,

velrybí tuk,...) (1b.). Informací je hodně o zástupcích aromatických uhlovodíků, avšak málo o jejich vlastnostech (0,5b.). V pracovním sešitě není téma Aromatické uhlovodíky zahrnuto (0b.).

LOS, P., a kol. *Chemie se nebojíme – 2. díl chemie pro základní školu*. Tato učebnice získala nejmenší počet bodů. Text je rozdělen do odstavců a důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem. Žádné další prvky pro zpřehlednění a lepší orientaci v textu však neobsahuje (0,5b.). Učebnice začíná různými zajímavostmi, což má motivační efekt. Ovšem stejně jako u předchozí učebnice, další uspořádání příliš systematické není. Základní vlastnosti aromatického kruhu jsou uvedeny v rámci pokusu a nejsou nikde dále v textu znovu zopakovány a uvedeny jako důležité informace. Na konci chybí shrnutí (0,5b.). Učebnice obsahuje kreslené obrázky (1b.) a pokusy (1b.), ale nezahrnuje opakovací a ověřovací otázky (0b.). Jako zajímavost je zde uvedeno využití aromatických uhlovodíků v cyklistice (lepidlo na duši), a objevitel cyklické struktury benzenu F. Kekulé (1b.). Informací není mnoho, ze zástupců aromatických uhlovodíků je uveden jen benzen (0b.). Učebnice nemá svůj pracovní sešit (-).

Učebnice a přehledy pro SŠ a G seřazené sestupně podle získaného počtu bodů

U každé učebnice a přehledu je v závorce uvedeno, jak dobře splnily dané kritérium (kolik za něj získaly bodů). U přehledů není hodnoceno, zda obsahují laboratorní práce, opakovací a ověřovací otázky a zajímavosti.

KRATOCHVÍL, B. a SVOBODA, J. *Chemie pro střední školy 2b* je učebnice, která získala nejvíce bodů. Text je přehledný, rozdělený do odstavců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem. Učebnice obsahuje tabulky a grafické symboly (1b.). Text je uspořádán netradičně avšak velmi zajímavě, neboť celá kapitola je věnovaná Aromatickým sloučeninám, tedy nejen aromatickým uhlovodíkům, ale i jejich derivátům (např. aminy, fenoly,...) a aromatickým heterocyklům (1b.). Učebnice obsahuje velké množství barevných obrázků i fotografií k tématu (1b.) a hodně návrhů na pokusy (1b.). V závěru je celá stránka věnována opakovacím a ověřovacím otázkám (1b.). Jako zajímavost je zde hned na začátku dopodrobna uvedeno vyprávění F. Kekulého, jak viděl ve snu podobu molekuly benzenu (1b.). Učebnice je velice podrobná a obsáhlá (1b.) a vyhovuje požadavkům k maturitě (1b.) [6] Pro učitele může být zajímavé, že se jedná o překladový materiál z německých učebnic.

KOLÁŘ, K., a kol. *Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia* je přehledná učebnice, jejíž text je rozdělený do dvou sloupců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem a obsahuje grafické symboly (1b.). Uspořádání kapitoly je logické (1b.). Učebnice zahrnuje kreslené obrázky i fotografie k tématu (1b.), návrhy na pokusy (1b.), a opakovací a ověřovací otázky (1b.). Zajímavostí je poměrně málo, například je zde uveden benzo[*a*]pyren, který je obsažen v cigaretovém kouři a způsobuje rakovinu. (0,5b.). Učebnice obsahuje dostatečné množství informací, v příloze je podrobně popsán cyklický systém konjugovaných vazeb a substituční efekty (1b.). Vyhovuje požadavkům k maturitě (1b.) [6]

VACÍK, J. a kol. *Přehled středoškolské chemie* je přehled, který získal stejný počet bodů jako přehled BENEŠOVÁ, M. a SATRAPOVÁ, H. *Odmaturuj z chemie*.

První z nich, *Přehled středoškolské chemie*, má text členěný do odstavců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem a obsahuje tabulky (1b.). O aromatických uhlovodících se můžeme dočíst ve dvou kapitolách. V jedné jsou vysvětlené všeobecné principy všech aromatických sloučenin, ve druhé jsou poté popisovány konkrétní reakce aromatických uhlovodíků a jejich zástupci (1b.). Přehled neobsahuje žádné obrázky (0b.). Zahrnuje velké množství informací (1b.) a vyhovuje požadavkům k maturitě (1b.) [6]

Druhý z nich, *Odmaturuj z chemie*, je moderně zpracovaný přehled v neokoukaném fialovém provedení. Postranní lištou připomíná spíše učebnici. Text je členěný do odstavců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem a obsahuje grafické symboly (1b.). Uspořádání učiva je logické (1b.). Neobsahuje žádné obrázky k tématu (0b.). Zahrnuje o něco méně informací než předchozí přehled, ale ne výrazně (1b.) a vyhovuje požadavkům k maturitě (1b.) [6]. Přestože se jedná o přehled, obsahuje zajímavosti (zneužívání toluenu).

BANÝR, J., a kol. *Chemie pro SŠ* je přehledná učebnice, jejíž text je rozdělený do dvou sloupců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem, obsahuje grafické symboly a schéma k tématu (1b.). Uspořádání učiva je logické (1b.). Učebnice obsahuje pouze jeden kreslený obrázek k tématu (0,5b.), návrhy na pokusy (1b.) a opakovací a ověřovací otázky (1b.). Neobsahuje zajímavosti (0b.), informací je poměrně málo. Znalosti, které jsou relativně základní, jsou uvedeny menším písmem jako nadstavbové

učivo (0,5b.). Důvodem je, že se na středních školách chemie učívá jen jeden nebo dva roky a žáci z ní většinou nematurují. Nicméně požadavky k maturitě z chemie jsou formulovány hodně obecně [6], a proto je učebnice splňuje (1b.).

MAREČEK, A. a HONZA, J. *Chemie pro čtyřletá gymnázia* je učebnice, která získala stejný počet bodů jako učebnice KOTLÍK, B. a RŮŽIČKOVÁ, K. *Chemie II v kostce pro střední školy*.

První z nich, *Chemie pro čtyřletá gymnázia*, má text členěný do odstavců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem. Postranní lišta téměř není využita a učebnice neobsahuje grafické symboly ani tabulky (0,5b.). Uspořádání textu je logické, celá kapitola aromatické uhlovodíky je rozdělena na dvě části – na monocyklické a polycyklické areny. (1b.). Učebnice neobsahuje obrázky (0b.), návrhy na pokusy (0b.), opakovací a ověřovací otázky (0b.), ani zajímavosti (0b.). Informací je hodně (podrobně substituční efekty a reakce aromatických sloučenin) (1b.). Vyhovuje požadavkům k maturitě (1b.) [6].

Druhá z nich, *Chemie II v kostce pro střední školy*, má text členěný do odstavců, důležité části a nové pojmy jsou uvedeny tučným písmem. Jinak neobsahuje grafické symboly, tabulky, ani postranní lištu (0,5b.) Uspořádání textu je logické (1b.). Učebnice neobsahuje obrázky (0b.), návrhy na pokusy (0b.), opakovací a ověřovací otázky (0b.), ani zajímavosti (0b.). Informací je hodně (podrobně substituční efekty a reakce aromatických sloučenin) (1b.). Vyhovuje požadavkům k maturitě (1b.) [6].

PUMPR, V., a kol. *Základy přírodovědného vzdělávání pro SOŠ a SOU, chemie*, je přehled, který získal nejméně bodů. Kromě přehlednosti (1b.) a částečně logiky uspořádání (0,5b.) nespňuje žádné kritérium. Tematický celek Aromatické uhlovodíky nemá nadpis. Učivo začíná výčtem vlastností benzenu. A teprve na závěr jeho popisu se uvádí, že „tyto látky se nazývají Areny.“ Informací je málo. Důvodem je, že na SOŠ a SOU se chemie učí okrajově a žáci z ní zpravidla nematurují, ale většina zde uváděných učebnic pro ZŠ obsahuje více informací, než tento přehled. Nevyhovuje požadavkům k maturitě (0b.) [6]. K přehledu je ještě připojeno CD s rozšiřujícím materiálem, kde ovšem téma Aromatické uhlovodíky není zmíněno.

4.8 Pojetí praktické části práce

Následující text je vybrán jako výukový materiál tematického celku Aromatické sloučeniny pro vyšší stupně gymnázií. Vedle základního textu jsou vloženy odstavce psané kurzívou a menším písmem, které odpovídají rozšiřujícímu učivu, vhodnému pro maturanty, studenty volitelných seminářů a zájemce o hlubší poznání tématu. Na konci kapitoly jsou řazeny laboratorní pokusy, jejichž autorské řešení je součástí metodických pokynů – viz str. 38.

Do konečné podoby by ovšem celý následující text musel být profesionálně editován a vizualizován, aby předložený výukový materiál mohl splňovat obecná kritéria a požadavky kladené na současné textové vzdělávací prostředky.

Pro zpracování následujících textů bylo použito zdrojů [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42] z odborných i didaktických publikací, vysokoškolských učebnic a internetu.

5 PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 Úvod

Na začátku tematického celku Aromatické sloučeniny je kladen důraz na motivaci žáků. Proto je úvod věnován původu názvu „aromatické sloučeniny“ a historii struktury molekuly benzenu. Následují všeobecné vlastnosti aromatických sloučenin, jejich zdroje a názvosloví. Poté je zařazen motivační odstavec týkající se aromatických nanomateriálů. Dalším bodem jsou reakce aromatických uhlovodíků. Po nich následuje aktivizační prvek – aromatické sloučeniny v léčivech a sulfonamidy, který má za úkol propojit vědomosti o aromatických sloučeninách s běžným životem. Učivo Substituční efekty je z větší části nadstavbové. Závěrem je uvedeno několik hlavních zástupců aromatických uhlovodíků a otázky a úkoly k tématu. Kapitola je uzavřena dvěma návrhy na laboratorní práce.

Před tematickým celkem Aromatické sloučeniny by již žáci měli mít absolvované učivo Alkany, Cykloalkany, Alkeny, Alkadieny a Alkyny, takže by měli znát reakce organických sloučenin, například elektrofilní a radikálovou adici, oxidaci a radikálovou substituci. Také by měli znát pojem elektrofil, nukleofil a karbokation. Dále také žáci můžou, ale nemusí (záleží na škole a učiteli), znát pojem delokalizované elektrony (z učiva o konjugovaných dienech), teorii rezonance (z anorganické chemie – podoba molekuly ozónu, dusičnanového aniontu, ...) a hybridizaci (obecná chemie). Předložené textové podklady obsahují jak učivo pro žáky, kteří tuto látku ještě neznají, tak i učivo nadstavbové, které s její znalostí počítá.

AROMATICKÉ SLOUČENINY

5.2 Proč se aromatické sloučeniny nazývají „aromatické“?

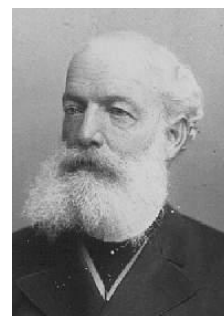
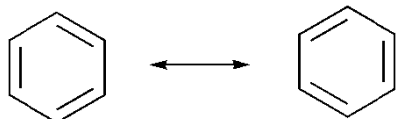
Název se používá z historického důvodu. Dříve se „aromatické“ nazývaly takové látky, které nějak voněly. Například benzaldehyd byl aromatická látka proto, že je obsažen v třešních a broskvích. Dnešní řazení látek do skupiny aromatické sloučeniny již nemá s původními „aromatickými“ látkami nic společného a jsou do této skupiny řazeny na základě úplně jiných vlastností. [25]



Obrázek 1 [45, 46]

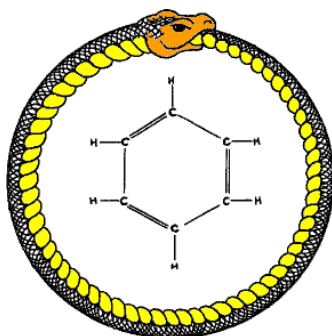
5.3 Kdo byl Friedrich August Kekulé von Stradonitz? (1829–1896)

Kekulé byl německý chemik českého původu. Pocházel ze Stradonic u Slaného. Působil jako profesor organické chemie v Gentu a v Bonnu, zabýval se vazností prvků, organickou chemii vymezil jako chemii sloučenin uhlíku. Byl první, kdo řekl, že molekula benzenu je cyklická, a navrhl pro ni tyto dva vzorce:



Obrázek 2:
Kekulé [47]

Na nápad cyklické podoby benzenu prý přišel ve snu. Existuje více variant jeho snu. Podle jedné teorie se mu zdálo, že vidí hada, jak se chytá za vlastní ocas. Mohlo se jednat o bájného hada Urobora, kterého alchymisté často používali pro znázornění nekonečných cyklů v přírodě.



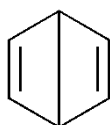
Obrázek 3 [48]



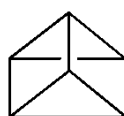
Obrázek 4 [49]

Podle druhé teorie viděl šest opic, držících se střídavě za jednu a za dvě ruce, každá držící banán (znázorňuje vodík). Také existuje varianta, že si benzen v podobě opic vymysleli Kekulého kolegové, aby jeho nápad zesměšlili. [36, 37]

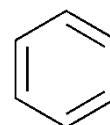
Nebyl ale jediný, kdo se pokoušel navrhnout strukturu benzenu. O totéž se snažili také Albert Ladenburg a James Dewar. [obrázek upraven dle 50]



James Dewar
(1867)



Albert Ladenburg
(1869)



August Kekulé
(1865)

5.4 Které sloučeniny jsou tedy aromatické?

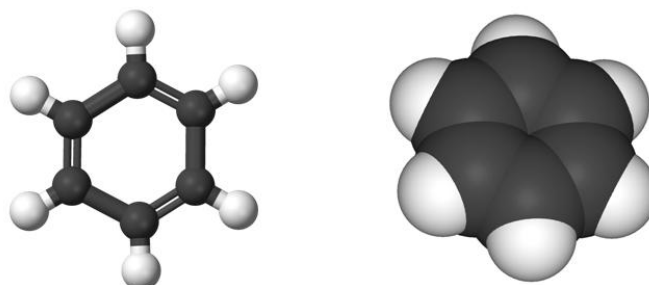
Aromatické jsou takové sloučeniny, které mají aromatický charakter. To znamená, že jsou to látky obsahující benzenové jádro nebo některé z látek nazývaných heterocykly. Aby byla sloučenina aromatická, musí splňovat pravidlo aromaticity:

1. molekula obsahuje cyklický systém konjugovaných vazeb
2. molekula je planární (rovinná)
3. molekula obsahuje $(4n+2)$ π elektronů, kde $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ (Hücklovo pravidlo)

5.5 Vlastnosti aromatických sloučenin

[25, 26]

Benzen je nejjednodušší a nejtypičtější představitel aromatických sloučenin. Ukážeme si na něm jejich typické vlastnosti.



Obrázek 5: Tyčinkový a kalotový model benzenu

Benzen vypadá na první pohled jako cyklický alken. Chová se však jinak. Nepodléhá elektrofilním adicím jako alkeny a jeho nejběžnější reakcí je substituce. Je neobyčejně stabilní. Příčinou těchto vlastností benzenu je cyklický systém konjugovaných vazeb.

Proč jsou molekuly s konjugovaným systémem dvojných vazeb tak stálé?

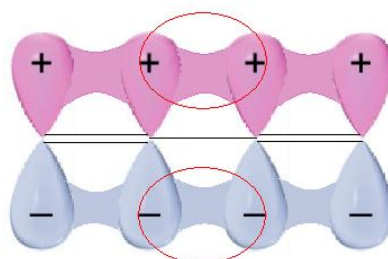
Nejdříve si připomeneme, jaký je rozdíl mezi jednoduchou a dvojnou vazbou. Jednoduché vazby jsou delší a slabší, kdežto vazby dvojně jsou kratší a pevnější.

Proč jsou jednoduché vazby delší a slabší kdežto dvojně vazby jsou kratší a pevnější? Jednoduchá vazba mezi dvěma uhlíky vzniká překryvem dvou hybridizovaných orbitalů sp^3 . Dvojná vazba mezi dvěma uhlíky vzniká překryvem dvou hybridizovaných orbitalů sp^2 a dvou nehybridizovaných orbitalů p . Dvojně vazby se tím pádem účastní větší počet elektronů, a proto je pevnější a kratší, než vazba jednoduchá.

Vazby v benzenu nejsou ve skutečnosti ani jednoduché (délka 154 pm), ani dvojně (délka 134 pm). Všechny jsou stejně dlouhé (délka 139 pm) a tudíž rovnocenné.

Proč jsou všechny vazby v benzenu stejně dlouhé? Při vzniku dvojně vazby spolu interagují dva nehybridizované orbitály p (mimo spojnicí jader – π vazba). V konjugovaném dienu pak dochází

k tomu, že spolu interagují (překrývají se) také orbitály p mezi uhlíky spojenými jednoduchou vazbou (uhlíky C_2 a C_3 na obrázku 6). Tato vazba je tudíž pevnější a podobá se vazbě dvojně.



Obrázek 6: Konjugovaný dien o čtyřech atomech uhlíku. Znáznorněny jsou nehybridizované p -orbitály. [upraveno dle 51]

To, že v benzenu nejsou ve skutečnosti ani jednoduché, ani dvojně vazby, znamená, že elektrony nejsou pevně umístěné mezi konkrétní uhlíky, ale jsou **delokalizované**. Delokalizace je rozmístění π -elektronů a nevazebných elektronových párů přes více atomů.

Jak k delokalizaci dochází? Důsledkem interakce nehybridizovaných p -orbitalů mezi C_2 a C_3 nejsou elektrony, podílející se na dvojných vazbách (π -elektrony), lokalizovány přesně mezi ty dva uhlíky, mezi nimiž dvojná vazba je, ale jsou rozmístěné po celém systému konjugovaných vazeb. Proto jsou delokalizované. Elektronová hustota je tedy na všech atomech uhlíku stejná.

Molekula benzenu má planární cyklický tvar pravidelného šestiúhelníku s konjugovanými vazbami. Jedna molekula benzenu má 6 π elektronů, které jsou delokalizované a tvoří nad a pod rovinou jader atomů uhlíku dva prstence.

Proč jsou delokalizované elektrony nad a pod rovinou molekuly benzenu? Každý atom uhlíku má tři sp^2 hybridizované orbitály a jeden nehybridizovaný p -orbital, který směřuje nad a pod jeho rovinu. Molekula benzenu má 6 atomů uhlíku, tudíž 6 π -elektronů (pohybujících se v p -orbitalech), které jsou delokalizovány a tvoří tak dva prstence (oblaky elektronů) nad a pod rovinou této molekuly.



Obrázek 7: Delokalizace elektronů v benzenu [52]

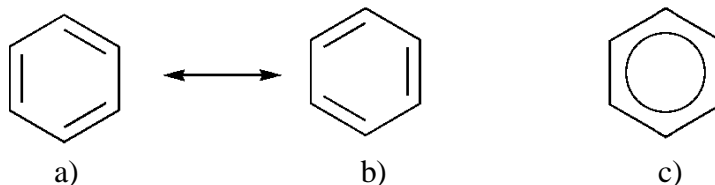
Při delokalizaci elektronů dochází k snížení energie molekuly. Tento úbytek energie se nazývá delokalizační = stabilizační = rezonanční energie.

To znamená, že molekula benzenu nemůže být totožná s molekulou cyklohexa-1,3,5-trienem. Když by při nějaké reakci vznikla takováto molekula, tak by okamžitě došlo k delokalizaci elektronů následované uvolněním delokalizační energie (konkrétně 151 kJ/mol) a vzniku molekuly benzenu.

Každá molekula se snaží být co nejstabilnější, to znamená mít co nejméně energie.

Struktura molekuly benzenu

Zakreslování struktury molekuly benzenu není jednoznačné. Reálná podoba benzenu je totiž průnikem dvou mezních rezonančních struktur (obě mají stejnou energii, obrázek 4a,b), samostatně není správná ani jedna. Nicméně se samostatně používají. Další možností zobrazení struktury benzenu je obrázek 4c – pomocí kroužku, který symbolizuje delokalizaci elektronů. S tímto zobrazením však nelze pracovat při znázorňování mechanismů reakcí, protože nezobrazuje aktuální skutečný počet elektronů.



Obrázek 8: Struktury benzenu

5.6 Zdroje aromatických uhlovodíků

Hlavním zdrojem aromatických uhlovodíků je uhlí. [25, 26]

Z uhlí se vyrábí dehet (tzv. černouhelný dehet) a z dehtu poté frakční destilací jednotlivé aromatické uhlovodíky.

Vedlejším zdrojem aromatických uhlovodíků je ropa.

Ropa obsahuje hlavně alkyly. Z nich se ovšem dají aromatické uhlovodíky vyrobit reformováním ropných frakcí.



Obrázek 9: Uhlí a ropa [53, 54]

5.7 Klasifikace aromatických sloučenin

Aromatické sloučeniny jsou

- aromatické uhlovodíky (areny: benzen, kondenzovaná benzenová jádra, alkylované benzenové sloučeniny (-R), *aromatické kationty a anionty*, *fullereny*, *uhlíkové nanotrubičky*, *grafen*)
- deriváty aromatických uhlovodíků (vznikají substitucí atomu vodíku na aromatickém jádře skupinami -OH, -NH₂, -CHO, -COOH, -COR, -CN, -X, -NO₂, -SO₃,...)

- některé heterocykly splňující pravidlo aromaticity. (Heterocykly mají nahrazený jeden či více atomů uhlíku na aromatickém jádře benzenu atomem dusíku, kyslíku nebo síry. Jsou to například pyridin, pyrimidin, purin, furan, pyrrol, thiofen, imidazol, indol, chinolin a jiné.) [19]

Další text se zabývá pouze aromatickými uhlovodíky neboli areny, což jsou deriváty benzenu s alkylovými substituenty (-R).

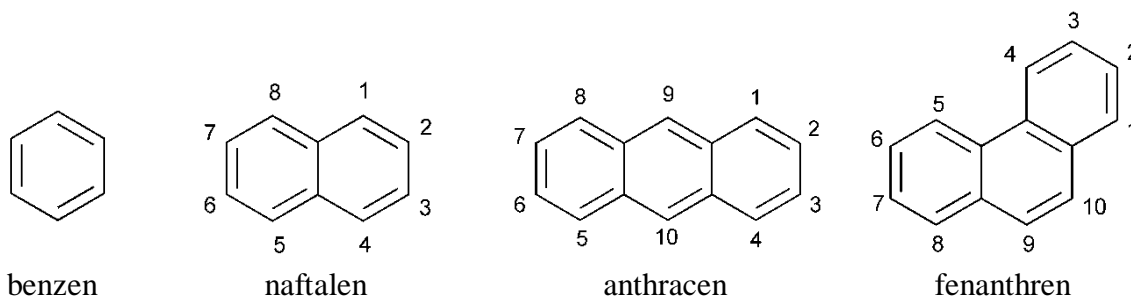
5.8 Názvosloví aromatických uhlovodíků

[28, 29]

Benzen, který je součástí nějaké látky, nazýváme aromatický cyklus, aromatický kruh či aromatické jádro.

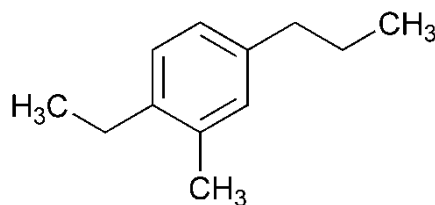
Aromatické uhlovodíky můžeme rozdělit na monocyklické a kondenzované (z více kruhů, sousední kruhy sdílejí dva stejné atomy uhlíku).

Základní aromatické uhlovodíky mají triviální názvy. Číslování kruhů je pevně dané.



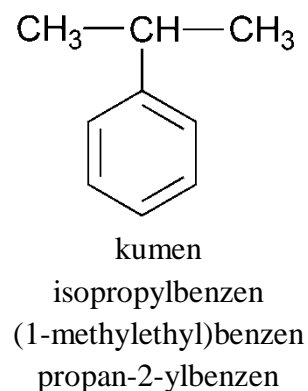
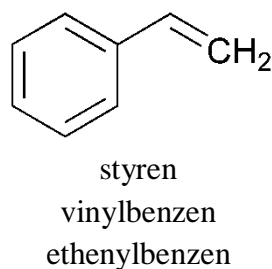
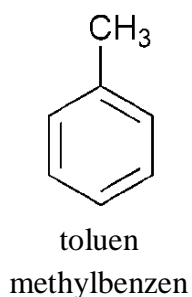
Poloha 1 u naftalenu se nazývá také α , poloha 2 se nazývá β . Uhlíky, které jsou společné dvěma kruhům, se nečíslojí. Nemohou tvořit žádnou další vazbu, a tudíž to není potřeba.

Když je na některém z těchto aromatických uhlovodíků navázán substituent, pak se sloučenina pojmenuje semisystematicky – triviálně základní cyklus a systematicky předpona, která vyjadřuje druh substituentu a jeho polohu. A to tak, aby poloha substituentů měla nejnížší možné lokanty. Zároveň uvádíme substituenty v abecedním pořadí.

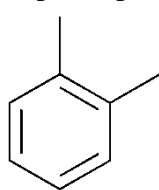


1-ethyl-2-methyl-4-propylbenzen

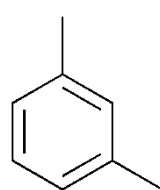
Některé areny mají jak triviální, tak semisystematické název.



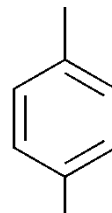
Vzájemná poloha substituentů může být vyjádřena předponami ortho- pro polohu 1,2-; meta- pro polohu 1,3-; para- pro polohu 1,4-



ortho- (o-)



meta- (m-)

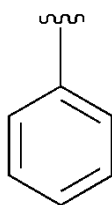


para- (p-)

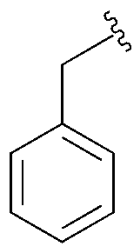
(Pozn.: V současném názvosloví již nepoužíváme předpony, přestože v odborné literatuře se s nimi stále setkáváme.)

Jestliže jsou v těchto polohách navázány methylové substituenty, mluvíme o o-, m- a p-xylénu.

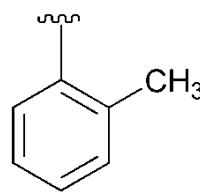
Pokud je uhlovodíkový řetězec napojený na benzenové jádro dlouhý, vyjádříme aren jako substituent. Areny budou mít koncovku -yl (tzv. aryly). Některé mají triviální názvy (od benzenu, toluenu).



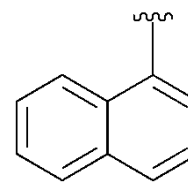
fenyl



benzyl

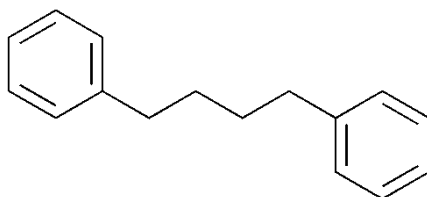


o-tolyl



1-nafyl

Celé sloučeniny se poté pomocí arylů pojmenovávají jako deriváty acyklického uhlovodíku.

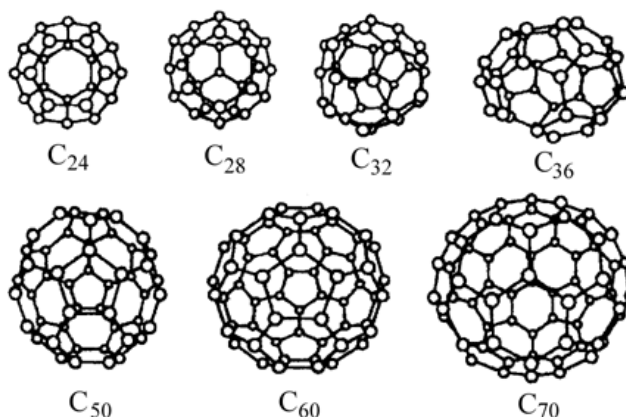


1,4-difenylobutan

5.9 Aromatické nanomateriály

Fullereny [32, 38]

Fullereny jsou obrovské duté sférické molekuly, které se skládají z velkého množství sudého počtu uhlíkových atomů (nejčastěji padesáti, šedesáti nebo sedmdesáti atomů uhlíků) tvořících pěti a šesti úhelníky. Jejich tvar se někdy přirovnává k fotbalovému míči. Jméno dostaly podle amerického vynálezce a architekta Richarda Fullera, který se proslavil

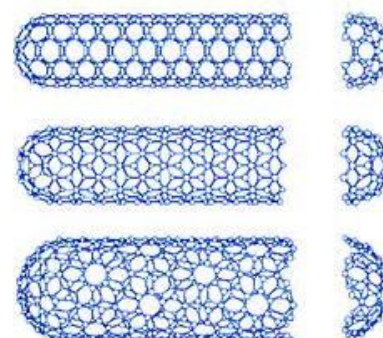


Obrázek 10 Fullereny [55]

stavbami, které byly fullerenum podobné. Fullereny jsou zhruba třikrát dražší než zlato a používají se pro nanotechnologie. Jsou vhodné na výrobu velmi pevných materiálů nízké hmotnosti, na ochranná skla filtrující škodlivé záření a jako součást tuhého paliva pro rakety. Dovnitř molekuly fullerenu je možné umístit léky a dopravovat je na místo jejich účinku v organismu. Dále se dá dovnitř molekuly umístit atom radioaktivního prvku, atom kovu či některé malé molekuly (například vodík, helium a lithium).

Uhlíkové nanotrubičky [32, 38]

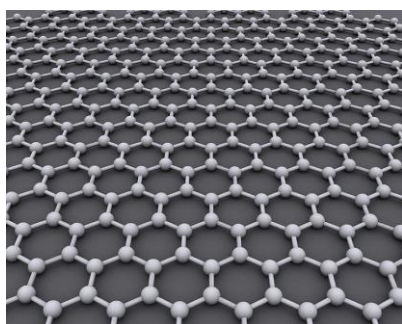
Nanotrubičky jsou tvořeny jednou nebo více vrstvami grafitu, stočenými do trubice. Mohou být zakončeny polovinou fullerenu, jak vidíme na obrázku. Existují v jedno nebo dvou vrstevné formě. Navzájem se spojují pomocí van der Waalsových sil a vytvářejí provazce a svazky. Neobvyklý je velký poměr jejich délky a šířky. Jsou pevné, pružné a teplotně stabilní. V závislosti na to, jak jsou stočené, mohou být polovodivé nebo vodivé. Mají potenciální využití v mikroelektronice



Obrázek 11: Nanotrubičky [56]

(tranzistory, paměti), jako palivové články, brusné materiály, nosiče katalyzátoru a lze je také naplnit jiným materiálem (za vzniku vysokopevnostní látky).

Grafen [39]



Obrázek 12: Grafen [57]

Grafen je látka tvořená jen jednou vrstvou grafitu = jednou vrstvou atomů. Zajímavý je především svou extrémní vodivostí (daleko větší než má grafit). Je průhledný, takže se dá využít při výrobě displejů a fotovoltaických článků.

5.10 Reakce aromatických uhlovodíků

Nejběžnější reakcí aromatických uhlovodíků je elektrofilní aromatická substituce. Podle ní probíhají halogenace (chlorace, bromace, jodace), nitrace, sulfonace, alkylace a acylace.

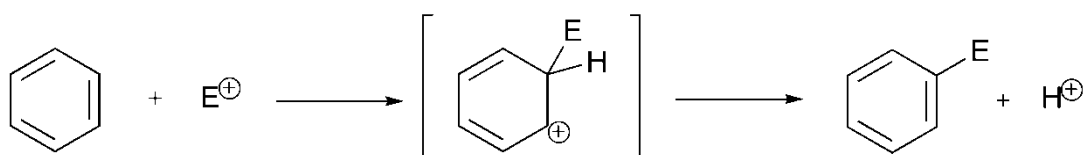
Areny podléhají také oxidaci postranních řetězců, oxidaci kondenzovaných aromatických uhlovodíků, benzylové bromaci a radikálové adici (katalytické hydrogenaci aromatických kruhů). [19, 25, 26, 33]

Nyní si probereme tyto reakce jednu po druhé.

Elektrofilní aromatická substituce

Pod i nad rovinou benzenového jádra se nachází prstenec delokalizovaných elektronů, které jsou volně přístupné elektrofilnímu činidlu. Benzen pak vystupuje jako činidlo nukleofilní. Benzen je velmi stabilní látka, a proto je třeba velké aktivační energie, aby reakce probíhala směrem k produktům.

Elektrofilní aromatická substituce probíhá ve dvou krocích. Nejdříve se elektrofil naváže na aromatický kruh. Vznikne meziproduct karbokation a dočasně se poruší aromatický kruh. Poté se z karbokationtu odštěpí proton a vytvoří se stabilní produkt, za současného obnovení aromatického kruhu.

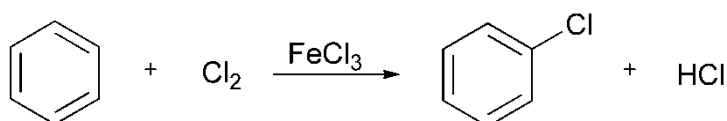


Na tomto principu probíhají všechny typy elektrofilní aromatické substituce.

Halogenace

Chlorace

Elektrofilním činidlem je molekula chlóru. Reakce probíhá za pomoci katalyzátoru – FeCl₃. Vzniká kyselina chlorovodíková a chlorbenzen, který slouží například k výrobě fenolu, herbicidů a dříve také pesticidů.

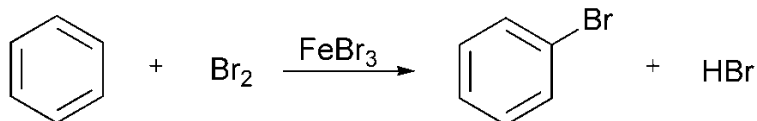


Molekula chlóru je pouze slabé elektrofilní činidlo. Po přidání katalyzátoru, např. práškové Fe nebo FeCl₃ (Lewisova kyselina), dojde k polarizaci vazby Cl–Cl za vzniku komplexu Cl₃Fe^{δ-}.....Cl.....Cl^{δ+}. Tím se elektrofilita molekuly chlóru zvýší. Komplex poté reaguje jako Cl⁺ podle schématu elektrofilní aromatické substituce (viz výše).

Reakce je poměrně pomalá, protože molekula benzenu je velmi stabilní.

Bromace

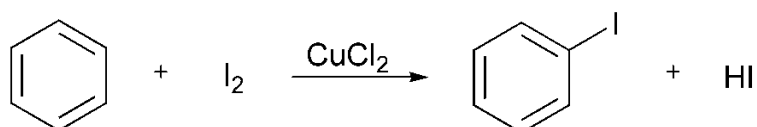
Elektrofilním činidlem je molekula brómu. Reakce probíhá za pomoci katalyzátoru – FeBr₃. Vzniká kyselina bromovodíková a brombenzen, který se dříve používal na výrobu insekticidů.



Bromace probíhá stejným reakčním mechanismem jako chlorace.

Jodace

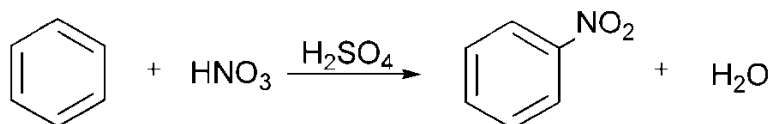
Elektrofilním činidlem je zoxidovaná molekula jódu. Reakce probíhá za přítomnosti oxidačního činidla CuCl₂, které oxiduje jód na silnější elektrofilní činidlo. Vzniká jodovodík a jodbenzen, který se používá například pro výrobu fenolu.



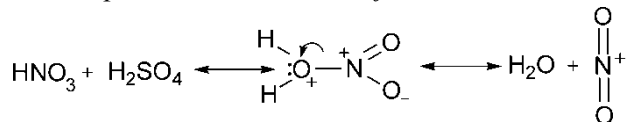
Molekula jódu je pouze slabé elektrofilní činidlo. Po přidání oxidačního činidla, např. H₂O₂, HNO₃ nebo CuCl₂, dojde k oxidaci molekuly jódu. Vzniká silnější oxidační činidlo I⁺ (I₂ + 2Cu²⁺ → 2I⁺ + 2Cu⁺), které dále reaguje s molekulou benzenem podle schématu elektrofilní aromatické substituce (viz výše).

Nitrace

Reakce probíhá s tzv. nitrační směsí, což je směs kyseliny dusičné a kyseliny sírové. Elektrofilním činidlem je nitroniový ion (vzniká v nitrační směsi). Vzniká voda a nitrobenzen, což je nažloutlá kapalina hořko mandlové vůně, velmi jedovatá (rychle se vstřebává pokožkou), která slouží k výrobě anilinu a používá se i jako rozpouštědlo.

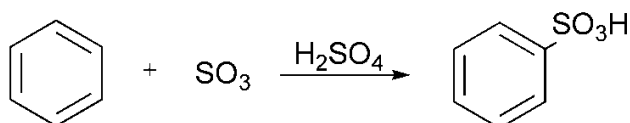


Nitroniový ion NO₂⁺ vzniká reakcí kyseliny dusičné s kyselinou sírovou. Dále reaguje s molekulou benzenem podle schématu elektrofilní aromatické substituce (viz výše).



Sulfonace

Reakce probíhá s koncentrovanou kyselinou sírovou. Elektrofilním činidlem je buď HSO₃⁺ nebo SO₃. Vzniká benzensulfonová kyselina, která se používá při výrobě fenolu.

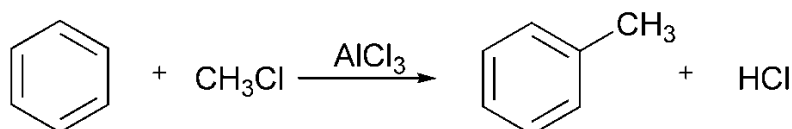


Alkylace a acylace

Reakce probíhají za pomoci katalyzátoru (Lewisova kyselina, např. AlCl_3). Elektrofilním činidlem pro alkylation je karbokation vznikající reakcí alkylchloridu s katalyzátorem. Elektrofilním činidlem pro acylaci je acylový kation, který vzniká reakcí acylchloridu s katalyzátorem.

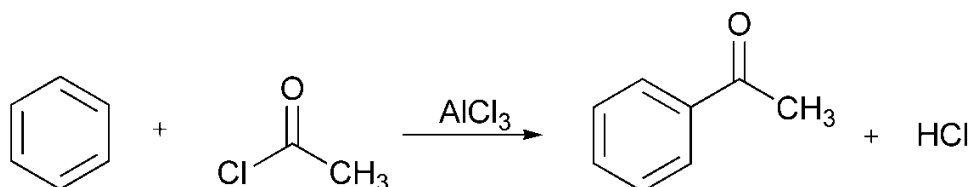
Alkylace

Reakcí molekuly benzenu a molekuly methylchloridu vzniká kyselina chlorovodíková a toluen.



Acylace

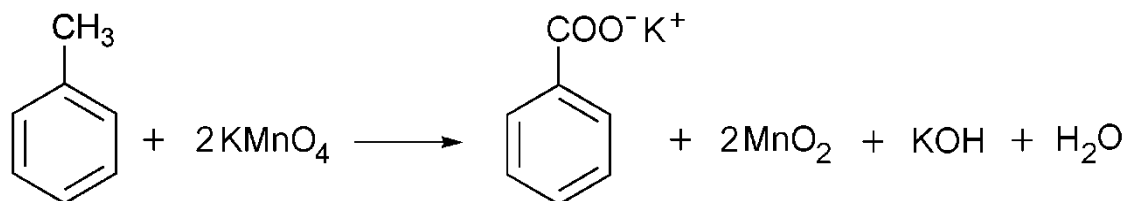
Reakcí molekuly benzenu a molekuly acetylchloridu vzniká kyselina chlorovodíková a acetofenon = fenyl(methyl)keton, což je vonící kapalina užívaná v parfumerii k napodobování vůně pomerančových květů. Také slouží na výrobu styrenu.



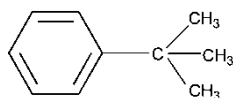
Oxidace

- postranních řetězců arenů

Reakce probíhají pomocí silného oxidačního činidla, například KMnO_4 , které oxiduje alkylový řetězec na karboxylovou kyselinu. Alkyl musí být primární nebo sekundární. Reakcí vzniká jedna molekula benzoanu draselného, dvě molekuly oxidu manganičitého, jedna molekula hydroxidu sodného a jedna molekula vody. Benzoan draselný se používá v potravinářství jako konzervační činidlo.

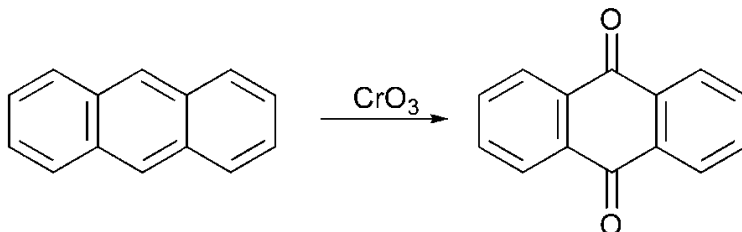


Při reakci dochází k ataku na vazbu C – H na bočním řetězci v benzylové poloze (= poloha sousedící s aromatickým kruhem). Terciární alkyl v této poloze žádný vodík nemá, proto reakce neprobíhá. Terciární alkyl:



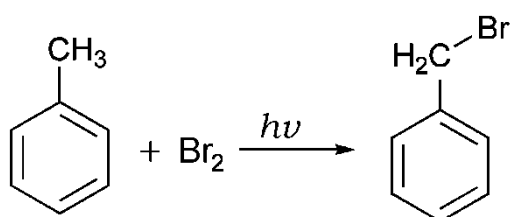
- kondenzovaných aromatických uhlovodíků

vznikají takzvané chinony. Oxidačním činidlem je oxid chromový. Touto reakcí vzniká z anthracenu barevný anthrachinon, který se používá k výrobě barviv.



Benzylová bromace arenů

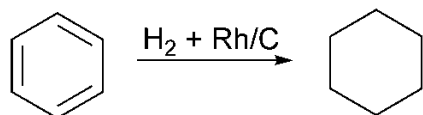
Reakce probíhá po ozáření mechanismem radikálové substituce. Vzniká benzylbromid, který byl používán jako válečný plyn (dráždí kůži a sliznice).



Radikál $Br \cdot$ odštěpuje atom vodíku v benzylové poloze za vzniku benzylového radikálového meziproduktu. Ten poté reaguje s molekulou brómu. Vzniká konečný produkt a další radikál $Br \cdot$, který se vrací do reakce a tvoří tak reakci řetězovou.

Radikálová adice

Za běžných podmínek odolává benzenové jádro radikálové adici. Ovšem za použití vodíku na platině jako katalyzátoru (za zvýšeného tlaku) nebo vodíku a rhodia na aktivním uhlí jako katalyzátoru (za atmosférického tlaku) lze aromatický kruh katalyticky hydrogenovat na cykloalkan. Reakcí vzniká molekula cyklohexanu, který se používá k výrobě plastů a jako rozpouštědlo.



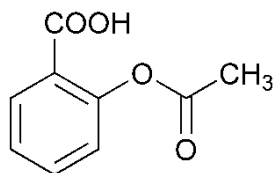
5.11 Aromatická léčiva a sulfonamidy

Léčiva [25]

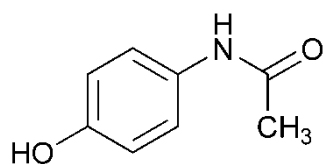
Acylpyrin, Aspirin, Paralen, Panadol, Coldrex, Ibalgin, Nurofen

Ve všech těchto běžných lécích jsou účinnou látkou aromatické sloučeniny. Jedná se o

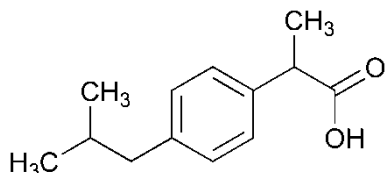
- acetylsalicylovou kyselinu (Acylpyrin, Aspirin)



- paracetamol (Paralen, Panadol, Coldrex) = *N*-(4-hydroxyfenyl)acetamid

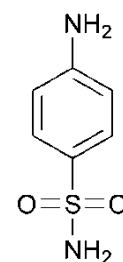


- ibuprofen (Ibalgin, Nurofen) = 2-(4-isobutylfenyl)propanová kyselina



Sulfonamidy [25]

Sulfonamidy byly první látky používané proti bakteriálnímu onemocnění. Byly to první antibiotika. Používaly se hlavně za druhé světové války. Dnes se předepisují při infekcích močových cest.



sulfonamid

5.12 Substituční efekty

Pokud provádíme elektrofilní aromatickou substituci na benzenu, je situace jednoduchá. Vždy vzniká aromát se substituentem v poloze 1. Jak to ale funguje, když už na benzenu nějaký substituent je?

Dochází k tomu, že substituent na benzenovém jádře ovlivňuje jak polohu, kam se druhý substituent naváže (takzvaná regioselektivita), tak i rychlost průběhu reakce (neboli reaktivitu aromatického kruhu).

Tento jev je způsoben dvěma substitučními efekty – indukčním a mezomerním. Ty jsou tedy příčinou

- orientujících vlastností substituentů a
- schopností substituentů aktivovat / deaktivovat jádro.

5.12.1 Indukční efekt [25]

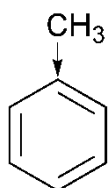
U indukčního efektu dochází k posunu elektronů po σ – vazbě mezi dvěma atomy s rozdílnou elektronegativitou (vazba je polarizovaná). Podle toho, jestli je substituent donorem nebo akceptorem elektronů se rozlišují dva typy indukčního efektu: kladný a záporný.

Kladný indukční efekt +I

Substituenti mající kladný indukční efekt jsou **donory elektronů** = poskytují elektrony aromatickému jádru.

Kladný indukční efekt mají **alkylové skupiny**.

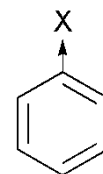
Při elektrofilní aromatické substituci je meziproduktem karbokation, viz výše. Karbokation je nestabilní, protože má nedostatek elektronů. Kladným indukčním efektem se elektrony karbokationtu dodají, čímž dojde k jeho stabilizaci a zrychlení celé reakce. Jinými slovy – aromatické jádro se **aktivuje**.



Alkylový substituent aktivuje jádro jen v určitých místech (polohách). To znamená, že se nový substituent nemůže navázat kamkoliv, ale jen konkrétně do poloh **ortho** (1,2-) a **para** (1,4-) vůči prvnímu substituentu.

Záporný indukční efekt -I

Substituenti mající záporný indukční efekt jsou **akceptory elektronů** = vytahují elektrony z aromatického jádra. Mají větší elektronegativitu, tudíž záporný parciální náboj a vazba je tak polarizovaná.



X je halogen

Záporný indukční efekt mají **halogeny, karbonylová skupina, kyanoskupina a nitroskupina**, slabý záporný indukční efekt má i **hydroxy a amino skupina**.

Karbokation vznikající při elektrofilní aromatické substituci je nestabilní, protože má nedostatek elektronů. Záporným indukčním efektem se navíc ještě elektrony karbokationtu odebírají, čímž dojde k jeho destabilizaci a zpomalení celé reakce. Jinými slovy – aromatické jádro se **deaktivuje**.

U halogenů však dochází k tomu, že polohu ortho a para ovlivňuje ještě slabý kladný mezomerní efekt (viz dále). Díky němu může volný elektronový pár na halogenech stabilizovat karbokation (karbokation elektrony chce). Halogeny tedy řídí reakci do polohy **ortho** (1,2-) a **para** (1,4-).

Karbonylová skupina, kyanoskupina a nitroskupina jsou skupiny orientující do polohy **meta** (1,3-), neboť v poloze ortho a para dochází k tomu, že se na atomu uhlíku, který nese substituent odebírající elektrony, nachází kladný náboj. A navíc jsou tyto dvě polohy ovlivněny ještě záporným mezomerním efektem (který také odebírá elektrony z jádra, viz dále).

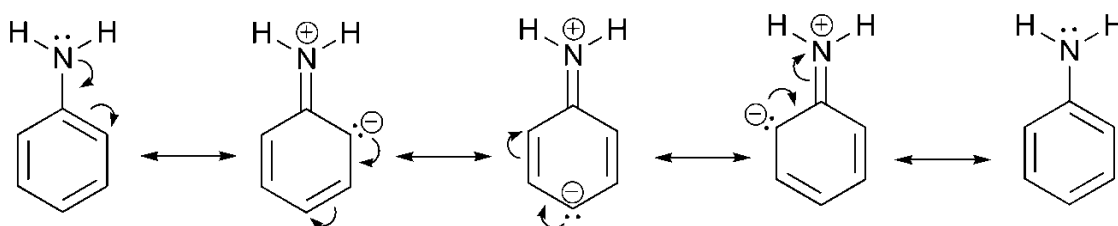
5.12.2 Mezomerní efekt [25]

U mezomerního (rezonančního) efektu dochází k posunu elektronů po π – vazbě. Důvodem je překryv orbitalů mezi aromatickým jádrem a substituentem. Podle toho, jestli je substituent donorem nebo akceptorem elektronů se rozlišují dva typy mezomerního efektu: kladný a záporný.

Kladný mezomerní efekt +M

Substituenty mající kladný mezomerní efekt jsou **donory elektronů** = poskytují elektrony aromatickému jádru.

Kladný mezomerní efekt mají **hydroxy skupiny a aminoskupiny**, slabý kladný mezomerní efekt mají i **halogeny**.

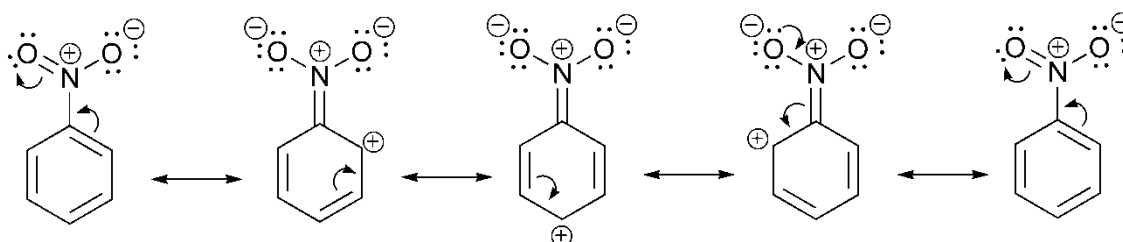


Zvýšením elektronové hustoty získává aromatické jádro částečný záporný náboj. Ten stabilizuje karbokation vznikající při elektrofilní aromatické substituci a dojde ke zrychlení celé reakce. Jinými slovy – aromatické jádro se **aktivuje**.

K největší aktivaci dochází v poloze **ortho** (1,2-) a **para** (1,4-).

Záporný mezomerní efekt –M

Substituenty mající záporný mezomerní efekt jsou **akceptory elektronů** = vytahují elektrony z aromatického jádra.



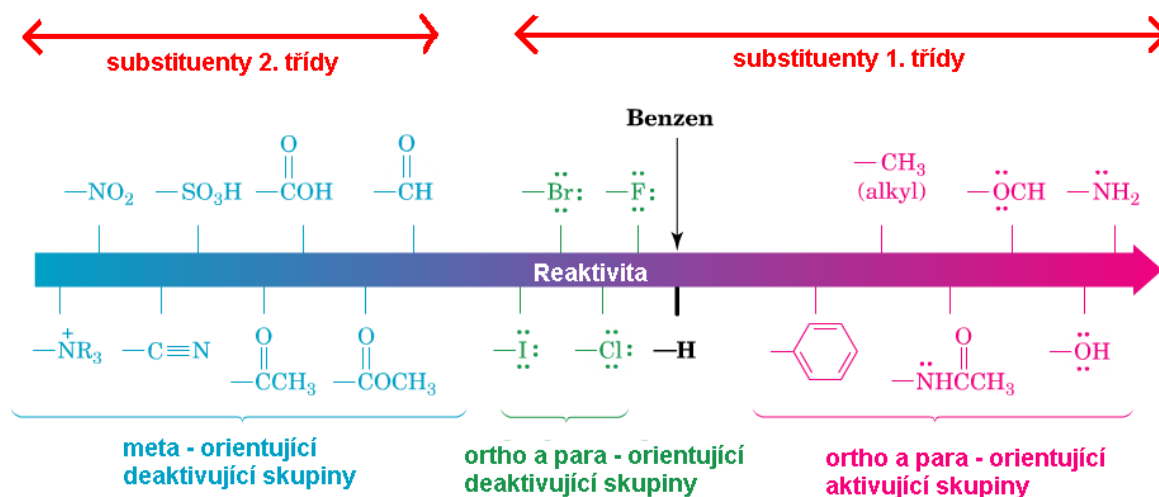
Záporný mezomerní efekt mají **karbonylová skupina, kyanoskupina a nitroskupina**.

Snižením elektronové hustoty získává aromatické jádro částečný kladný náboj. Tím, že se elektrony karbokationtu odebírají, dojde k jeho destabilizaci a zpomalení celé reakce. Jinými slovy – aromatické jádro se **deaktivuje**.

Nejvíce se tento jev projevuje v poloze **ortho** (1,2-) a **para** (1,4-), tudíž nejstabilnější produkt vzniká v poloze **meta** (1,3-) (viz. -I).

Aktivace aromatického kruhu a regioselektivita substituentů

Schopnost jednotlivých skupin aktivovat/deaktivovat aromatické jádro a kombinace obou efektů s přihlédnutím k jejich síle, určuje regioselektivitu reakce. Výsledkem je pak následující tabulka, která nám rychle odpoví na otázky „do jakých poloh se substituent naváže?“ a „jaký produkt můžeme očekávat?“



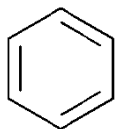
Obrázek 13: Aktivace aromatického kruhu a regioselektivita substituentů [upraveno dle 58]

Meta orientující deaktivující skupiny se nazývají substituenty 2. třídy, ortho a para orientující deaktivující i aktivující skupiny se nazývají substituenty 1. třídy.

5.13 Nejvýznamnější zástupci aromatických uhlovodíků

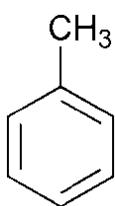
Benzen, toluen a xylen jsou kapaliny, naftalen, anthracen a fenanthren pevné látky. Všechny areny jsou nepolární, proto nerozpustné ve vodě a rozpustné v organických nepolárních rozpouštědlech. [vybráno z 17, 19, 26]

Benzen



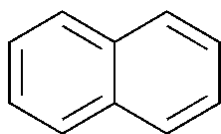
Benzen je bezbarvá, karcinogenní kapalina. Se vzduchem tvoří výbušnou směs. Používá se jako rozpouštědlo a pro syntézu mnoha organických látek, jako jsou např. léčiva, plasty, výbušniny, pesticidy, barviva a dezinfekční přípravky. Získává se při karbonizaci uhlí nebo petrochemicky dehydrogenací cyklohexanu.

Toluen



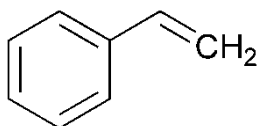
Toluen má podobné vlastnosti jako benzen, je ale méně karcinogenní. Je to bezbarvá kapalina, se vzduchem tvoří výbušnou směs. Používá se jako rozpouštědlo a pro syntézu mnoha organických látek, jako jsou např. kyselina benzoová, benzaldehyd a výbušnina TNT (trinitrotoluen). Získává se při karbonizaci uhlí. Jeho vdechování má narkotické účinky, je návykové. Příznaky intoxikace jsou podobné opilosti. Způsobuje trvalé poškození mozku. Narkomani ho nazývají „téčko“.

Naftalen



Naftalen je bicyklický aren. Je to bílá krystalická látka, která snadno sublimuje. Je hořlavý a zdraví škodlivý (má slabé narkotické účinky). Používá se pro syntézu mnoha organických látek, například kyseliny ftalové, plastů a barviv, jako dezinfekce a jako insekticid („naftalínové“ kuličky proti molům). Získává se z černouhelného dehtu a petrochemicky.

Styren



Styren (vinylbenzen) je bezbarvá olejovitá kapalina. Na vzduchu se oxiduje za vzniku peroxidů, které rovněž působí jako jeden z katalyzátorů jeho polymerace. Používá se jako rozpouštědlo, na výrobu plastů, konkrétně polystyrenu, a na výrobu kaučuku. Vyrábí se z benzenu přes ethylbenzen.

5.14 Otázky a úkoly

1. Porovnejte model cyklohexanu a benzenu. V čem všem se liší?
2. Z jakých strukturních jednotek je složen grafit? Z benzenů nebo z cyklohexanů? Proč? Podívejte se na model grafitu.
3. Jaké musí mít látka vlastnosti, aby se řadila mezi aromatické sloučeniny?
4. Podle obrázku 13 vytvořte vlastní barevnou tabulku, kterou budete používat jako pomůcku při řešení reakcí.
5. Porovnejte bromaci benzenu a toluenu. V čem se liší?

5.15 Laboratorní pokusy

Sublimace naftalenu

Pomůcky: kahan, trojnožka, azbestová síťka, kádinka, hodinové sklíčko, ochranné pomůcky

Chemikálie: naftalen (bezpečnostní symboly: H302-H351-H410; P273-P281-P501) [40, 41, 42]

Teoretický princip:

Některé látky mají schopnost sublimovat. Sublimace je děj, při kterém látka přechází z pevného skupenství rovnou do skupenství plynného.

Postup práce:

Pracujte v digestoři s použitím ochranných pomůcek.

Kádinku postavte na síťku umístěnou na trojnožce. Vložte do ní několik krystalků naftalenu a přikryjte ji hodinovým sklíčkem. Zapalte kahan a chvíli jím zespona kádinku zahřívejte. Kádinka se začne plnit bílými parami. Na hodinovém sklíčku se usazují krystalky naftalenu.

Otázky a úkoly

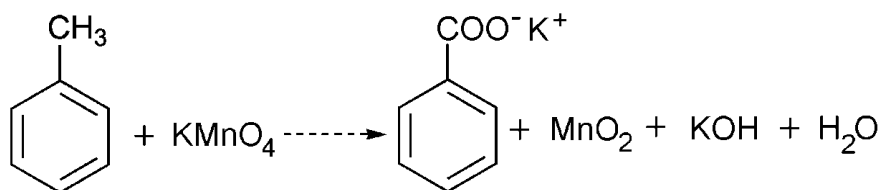
1. K čemu se používá sublimace?
2. Používá / používal se v domácnostech naftalen? Na co?
3. Vypracujte protokol, který na začátku příštího laboratorního cvičení odevzdáte. Zakreslete do něj schéma aparatury.

Oxidace toluenu

Pomůcky: zkumavka, zátka, kádinka, ochranné pomůcky

Chemikálie: 1% roztok manganistanu draselného, toluen (bezpečnostní symboly: H225-H304-H315-H336-H361d-H373; P210-P261-P281-P301 + P310-P331) [40, 41, 42]

Teoretický princip: toluen podléhá oxidaci se silným oxidačním činidlem manganistanem draselným, který se reakcí redukuje na oxid manganičitý. Zároveň se toluen oxiduje na benzoan draselný. Dále vzniká hydroxid draselný a voda. Reakční schéma:



Postup práce:

Pracujte v digestoři s použitím ochranných pomůcek.

Do zkumavky odpipetujte přibližně 3 ml toluenu. Potom přidejte několik kapek roztoku manganistanu draselného. Zkumavku uzavřete zátkou a silně jí zatřepejte.

Otázky a úkoly

1. Jakou barvu měl roztok na začátku a jakou barvu má po protřepání? Pro kterou látku je tato barva typická?
2. Jaký je triviální název oxidu manganičitého?
3. Vyčíslete rovnici.
4. Vypracujte protokol, který na začátku příštího laboratorního cvičení odevzdáte.

6 METODICKÉ POKYNY K VÝUKOVÉMU MATERIÁLU

6.1 Úvod

Po inspiraci [34] byly vypracovány metodické pokyny k výukovému materiálu, které byly rozděleny do následujících podkapitol. Nejdříve jsou definovány cíle, kterých má žák po nastudování výše předložených výukových materiálů dosáhnout. Poté je věnována pozornost práci s učivem, což jsou návrhy, jakým způsobem kterou část látky pojmout, co již žáci znají z předchozího učiva, co je pro ně nové, kdy je vhodné zadat domácí úkoly, na co je třeba žáky upozornit, ... Další podkapitola je věnována přímo obsahu učiva. Zde jsou vyjmenované dílčí témata patřící do učiva Aromatické sloučeniny. Následují odpovědi na zadané otázky ve výukovém materiálu. Na závěr je uvedeno několik doplňujících zdrojů pro učitele.

6.2 Cíle

Po probrání tematického celku Aromatické sloučeniny podle výše uvedených materiálů žáci dokážou vymežit, co musí sloučenina splňovat, aby byla aromatická. Uvedou několik příkladů, na kterých daný problém objasní. Odvodí, proč je cyklický systém konjugovaných vazeb stálý a vysvětlí pojem delokalizované elektrony a delokalizační energie. Žáci jsou schopni porovnat molekulu cyklohexa-1,3,5-trienů a benzenu. Nakreslí struktury benzenu a uvedou klady a zápory jejich používání. Dále vyjmenují zdroje aromatických uhlovodíků a používají správné názvosloví. Žáci vysvětlí vliv indukčního a mezomerního efektu na průběh základních reakcí a dokážou odvodit jejich produkty. Charakterizují hlavní zástupce aromatických uhlovodíků.

6.3 Práce s učivem

Podle RVP ZV [1] by měli přicházet žáci na střední školy s těmito základními znalostmi o aromatických sloučeninách:

Žák rozliší nejjednodušší uhlovodíky, uvede jejich zdroje, vlastnosti a použití.

Podle ŠVP základní školy v Drtinově ulici na Praze 5 [43] (škola zvolena náhodným výběrem) ví žák o aromatických sloučeninách na konci deváté třídy toto:

Žák zná pojem areny. Popíše vzorec, význam a užití benzenu.

Z toho vyplývá, že naprostá většina učiva, které se týká aromatických sloučenin, je pro žáka na SŠ nová.

Na druhou stranu, můžeme navazovat na již dříve probrané středoškolské učivo. Žáci mají za sebou většinou chemii obecnou a anorganickou (viz například ŠVP Gymnázia Na Zatlance, Praha 5 [44], škola zvolena náhodným výběrem).

Na začátku si musíme rozmyslet, do jaké hloubky chceme učivo vysvětlovat. Pro podrobnější výklad je totiž třeba, aby žáci znali teorii rezonance a hybridizaci.

V úvodu můžeme s žáky diskutovat o tom, co si vybaví pod pojmem Aromatické sloučeniny. Slovo „aromatický“ znají z běžného života, proto uvedeme na pravou míru jeho odborný význam v chemii. Pomocí modelů benzenu a cyklohexanu společně vymezíme základní vlastnosti aromatických sloučenin (například metodou práce ve skupinách). Pojmy delokalizované elektrony a delokalizační energie by již měly být žákům známy z učiva o konjugovaných dienech.

Můžeme diskutovat o zdrojích aromatických uhlovodíků, protože žáci mívají mylnou představu, že pocházejí především z ropy.

Seznámíme žáky s pravidly názvosloví aromatických uhlovodíků. Na jejich procvičení je vhodné zadat domácí úkol, což nám ušetří čas v hodině. Při této příležitosti upozorníme na častou chybu – záměnu názvů jednotlivých uhlovodíkových zbytků (benzyl, naftyl, ...).

Pojmy nukleofil, elektrofil a karbokation by měli žáci znát z učiva o alkenech, formou diskuze si je můžeme společně připomenout. Pomocí dosavadních znalostí by žáci měli odvodit, jakým způsobem (jako elektrofil, nukleofil) bude benzen reagovat.

Probereme s žáky reakce, kterým aromatické uhlovodíky podléhají. Můžeme diskutovat o tom, jaké produkty vzniknou reakcí toluenu s molekulou brómu. Následně je vhodné vysvětlit indukční a mezomerní efekt. Tyto dva pojmy jsou pro žáky nové. Stejně jako pojem regioselektivita, aktivace/deaktivace jádra a pojem substituenty 1. a 2. třídy. Zaměříme se na to, aby žáci tyto znalosti používali v praxi, což můžeme procvičit na domácím úkolu. Upozorníme je na pojem „benzylová poloha“.

Seznámíme žáky se základními zástupci aromatických uhlovodíků.

Možnosti laboratorních pokusů na SŠ (ZŠ) nejsou velké, což vyplývá z omezení R, S vět (podle EU nyní H, P věty) pro benzen, toluen a naftalen [40, 41, 42]. Z toho důvodu lze provádět experimenty maximálně s toluenem a naftalenem v digestoři s použitím bezpečnostních pomůcek. Dalším způsobem, jak názorně demonstrovat reakce aromatických sloučenin, jsou např. videopokusy.

6.4 Obsah učiva

- vlastnosti aromatických sloučenin (pravidlo aromaticity, vlastnosti cyklických konjugovaných systémů)
- zdroje aromatických uhlovodíků (černouhelný dehet, ropa)
- klasifikace aromatických uhlovodíků
- názvosloví aromatických uhlovodíků
- reakce (elektrofilní aromatická substituce, oxidace, benzylová bromace arenů, radikálová adice)
- indukční a mezomerní efekt (kladný, záporný, regiosektivita, schopnost aktivovat/deaktivovat jádro)
- zástupci (benzen, toluen, naftalen, styren)

6.5 Odpovědi na zadané otázky

- ve výukovém materiálu

1. Cyklohexan je cyklický alkan, který může mít konformaci (prostorové uspořádání molekuly) vaničky nebo židličky, kdežto benzen je cyklický systém konjugovaných vazeb, který je planární (rovinný).
2. Struktura grafitu se skládá z vrstev tvořených kondenzovanými molekulami benzenových jednotek. Jednotlivé vrstvy jsou rovné, protože molekula benzenu je planární (cyklohexan má konformaci vaničky nebo židličky).
3. Látka musí splňovat pravidlo aromaticity (3 podmínky).
5. Bromace benzenu probíhá mechanismem elektrofilní aromatické substituce, kdežto bromace toluenu probíhá mechanismem radikálové substituce.

Otázky a úkoly týkající se procvičování pravidla aromaticity, názvosloví a reakcí aromatických uhlovodíků budou vytvořeny v rámci diplomové práce.

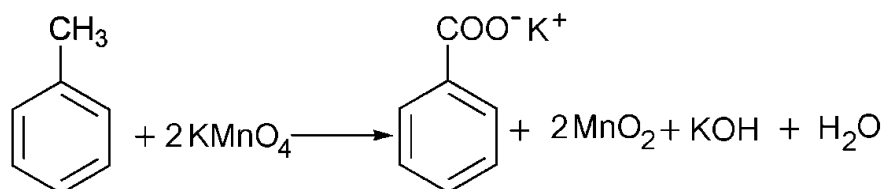
- v laboratorním cvičení

Sublimace naftalenu

1. Sublimace se používá k přečištění sublimované látky.
2. Naftalen se používal proti molům v podobě tzv. naftalínových kuliček jako insekticid.

Oxidace toluenu

1. Na začátku měl roztok slabě růžovou barvu (danou roztokem manganistanu draselného). Po protřepání zhnědnul. Tato barva je typická pro oxid manganičitý.
2. Burel.
3. Reakční schéma:



6.6 Doplňující zdroje pro učitele

- McMURRY, J. *Organická chemie*. 1. vydání, Brno: VUTIUM, 2007.
- PACÁK, J. *Jak porozumět organické chemii*. Praha: Karolinum, 1997.
- FIKR, J., KAHOVEC J. *Názvosloví organické chemie*. 3. vydání. Olomouc: Rubico, 2008.

Metody zacílené na aktivitu žáků budou vypracovány dodatečně v diplomové práci navazující na toto téma.

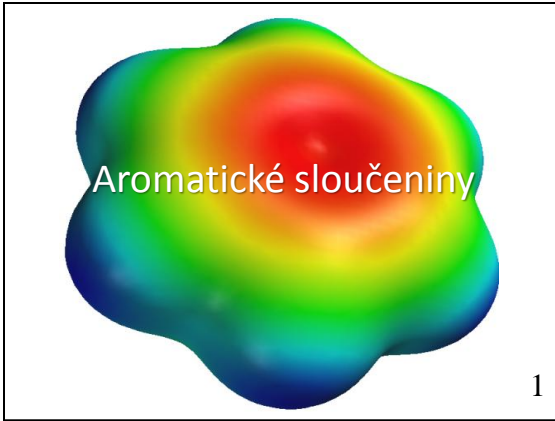
7 PREZENTACE A METODICKÉ POKYNY K JEDNOTLIVÝM SNÍMKŮM

PowerPointová prezentace by měla vizualizovat a doplnit předložený výukový materiál. Rozhodně neslouží jako samonosný vzdělávací prostředek. Je to pomůcka pro učitele, která usnadní výklad učiva. Z velké části předpokládá vedení vyučovacích hodin formou dialogu s žáky.

Pro zpracování prezentace bylo použito zdrojů [25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39] z odborných i didaktických publikací, vysokoškolských učebnic a internetu. Zdroje obrázků: [45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59].

7.1 Vybrané snímky z prezentace (celá prezentace je v příloze na CD)

Jedná se o snímky číslo 1, 2, 4, 5, 9 a 12.

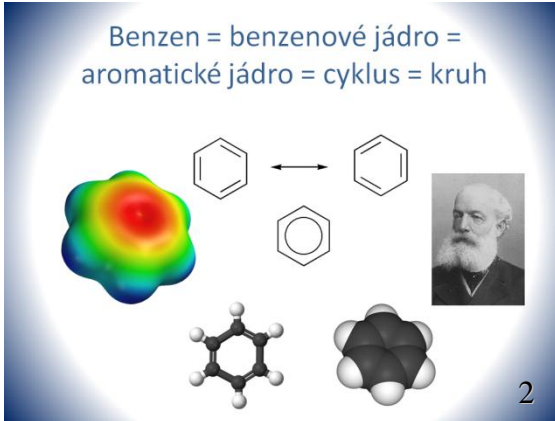


Aromatické sloučeniny

1

Úvodní snímek s tematickým motivačním obrázkem

Benzen = benzenové jádro =
aromatické jádro = cyklus = kruh



2

Benzen – diskutujeme s žáky o tom, co si vybaví pod pojmem benzen, co si pamatují ze ZŠ. Sdělíme žákům, kdo byl Friedrich Kekulé.

Název „aromatické“

- Historický důvod



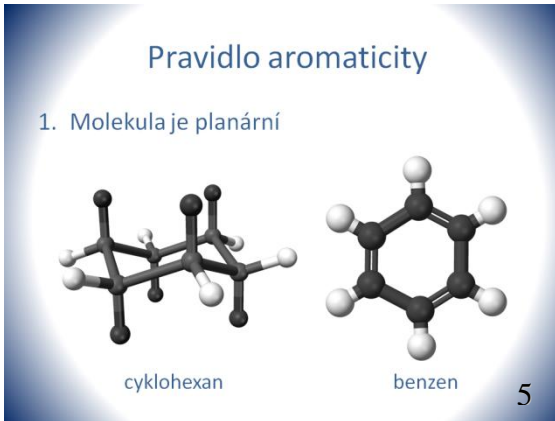
např. benzaldehyd

4

Diskutujeme s žáky o tom, co si vybaví pod pojmem aromatické sloučeniny. Benzaldehyd je obsažen v broskvích a třešních, oboje ovoce voní.

Pravidlo aromaticity

1. Molekula je planární



cyklohexan benzen

5

Předložíme žákům modely cyklohexanu a benzenu a vyzveme je, aby modely porovnali a odvodili, v čem se liší. Lépe si zapamatují pravidlo aromaticity, když ho sami vydedukují.

Delokalizované elektrony

delokalizační = stabilizační = rezonanční energie




chemicky stabilní látka = energeticky chudá

9

Seznámíme žáky s mapou elektrostatického potenciálu. Žáci tak mohou vidět rozložení e^- „ve skutečnosti“. Žáci poté na obrázku porovnájí dva druhy zobrazení e^- v molekule benzenu.

Zdroje aromatických uhlovodíků

- uhlí

- ropa




12

Diskutujeme s žáky. Pracujeme s animací prezentace.

7.2 Metodická příručka k prezentaci

snímek 1	Úvodní snímek s tematickým motivačním obrázkem.
snímek 2	Benzen – diskutujeme s žáky o tom, co si vybaví pod pojmem benzen, co si pamatují ze ZŠ. Sdělíme žákům, kdo byl Friedrich Kekulé.
snímek 3	Motivační snímek – zajímavosti o Kekulém.
snímek 4	Diskutujeme s žáky o tom, co si vybaví pod pojmem aromatické sloučeniny. Benzaldehyd je obsažen v broskvích a třešních, oboje ovoce voní.
snímek 5	Předložíme žákům modely cyklohexanu a benzenu a vyzveme je, aby modely ve skupinách porovnali a aby odvodili, v čem se liší. Lépe si zapamatují pravidlo aromaticity, když ho sami vydedukují. Pracujeme s animací prezentace.
snímek 6	Vyzveme žáky, aby se zamysleli nad tím, jaká další vlastnost by mohla být pro aromatické sloučeniny typická – podle obrázku. Společně si připomeneme vlastnosti konjugovaných dienů. Pracujeme s animací prezentace.
snímek 7	Seznámíme žáky s třetím bodem pravidla aromaticity. Vyzkoušíme si jeho určování na třech různých molekulách. Cyklobutadien není aromatický, pyridin je aromatická heterocyklická látka. Pracujeme s animací prezentace.
snímek 8	Můžeme s žáky diskutovat o tom, jak se liší jednoduchá a dvojná vazba. Poté žákům vysvětlíme, že v benzenu nejsou vazby ani jednoduché, ani dvojně.
snímek 9	Na tomto snímku vysvětlujeme delokalizaci elektronů, pokud žáci neznají hybridizaci. Seznámíme žáky s mapou elektrostatického potenciálu, na které

	<p>mohou vidět rozložení e^- „ve skutečnosti“. Žáci poté na obrázku porovnají dva druhy zobrazení e^- v molekule benzenu.</p> <p>Sdělíme žákům, že při delokalizaci elektronů dochází k snížení energie molekuly a že tento úbytek energie se nazývá delokalizační = stabilizační = rezonanční energie. Toto budou pro žáky pravděpodobně nové pojmy.</p> <p>Porovnáme vlastnosti benzenu a cyklohex – 1,3,5 – trienu.</p>
snímek 10	<p>Pokud žáci znají hybridizaci, můžeme pomocí tohoto obrázku vysvětlit cyklický systém konjugovaných vazeb. V butadienu dochází k interakci p-orbitalů mezi uhlíkem C_2 a C_3. Elektrony tudíž nejsou umístěny pevně mezi konkrétní uhlíky, ale jsou delokalizované.</p>
snímek 11	<p>Diskutujeme s žáky nad výhodami a nevýhodami používání jednotlivých struktur benzenu. Pokud ještě neznají teorii rezonance, můžeme ji zde dobře vysvětlit.</p>
snímek 12	<p>Diskutujeme s žáky. Pracujeme s animací prezentace.</p>
snímek 13	<p>Seznámíme žáky s klasifikací aromatických sloučenin.</p>
snímek 14–19	<p>Vysvětlíme žákům pravidla názvosloví. Formou skupinové práce procvičíme na příkladech tvorbu vzorců i názvů sloučenin.</p>
snímek 20	<p>Opakování a shrnutí názvosloví základních aromatických uhlovodíků, jejich charakteristika. Pracujeme s animací prezentace.</p>
snímek 21	<p>Motivační snímek – aromatické nanomateriály.</p>
snímek 22–24	<p>Zopakujeme s žáky důležité pojmy, pracujeme s animací prezentace.</p>
snímek 25	<p>Na základě informací o vlastnostech benzenu, které již žáci znají, sami odvodí, jestli benzen vystupuje v reakcích jako činidlo nukleofilní nebo elektrofilní. Necháme žáky odvodit, že hlavní reakcí benzenu je elektrofilní aromatická substituce a porovnat tento fakt s typickou reakcí alkenů – elektrofilní adicí. Pracujeme s animací prezentace.</p>
snímek 26–36	<p>Seznámíme žáky s jednotlivými reakcemi benzenu.</p>
snímek 37–38	<p>Motivační snímek – léčiva.</p>
snímek 39	<p>Žáci odhadují, do které polohy se naváže bróm. Pracujeme s animací prezentace.</p>
snímek 40–42	<p>Nastíníme žákům existenci substitučních efektů. Na základě toho si žáci potvrdí nebo vyvrátí správnost svého původního odhadu. Hlubší vysvětlení podáme až v semináři. Pro zájemce je dané učivo podrobně rozepsáno v učebnici.</p>
snímek 43	<p>Žáci vytvoří vlastní barevnou tabulku, kterou budou používat jako pomůcku při řešení reakcí.</p>

7.3 Návrh na rozdělení tematického celku Aromatické sloučeniny do vyučovacích hodin

1. hodina	úvod, motivace, Kekulé, pravidlo aromaticity, vlastnosti aromatických sloučenin – cyklický systém konjugovaných vazeb	snímek 1–11
2. hodina	zdroje, klasifikace a názvosloví aromatických uhlovodíků, zástupci	snímek 12–20
3. hodina	motivace (aromatické nanomateriály), zopakování klíčových pojmů, výčet reakcí aromatických uhlovodíků	snímek 21–36
4. hodina	motivace (léčiva), substituční efekty, procvičování reakcí aromatických uhlovodíků	snímek 37–43
5. hodina	prověřování znalostí žáků	-

Jedná se o přibližné rozvržení učiva. Závisí především na hodinové dotaci chemie na konkrétních školách. Pět vyučovacích hodin na tematický celek Aromatické sloučeniny je poměrně hodně. Proto je možné omezit například učivo Reakce aromatických uhlovodíků (zabývat se menším počtem reakcí). Na doplnění učiva je možné zařadit domácí úkol na procvičení názvosloví a reakcí aromatických uhlovodíků. Do naplánovaného rozvržení je učivo Substituční efekty zahrnuto pouze okrajově. Větší prostor je možné mu věnovat v seminářích. Mezi jednotlivé snímky prezentace je vřazeno učivo Zajímavosti, sloužící jako motivační a aktivizační prvek. Do hodinového rozvržení učiva nejsou zahrnuty laboratorní práce.

8 ZÁVĚR

Hlavní myšlenka, s kterou byl vytvářen tento materiál, byla potřeba výběru takových podkladů, které by zpřístupnily žákům co nejvíce informací co nejsrozumitelnějším způsobem. Rozsahem učiva proto materiál překračuje standardní učebnice [např. 21, 24].

Ve většině učebnic je spousta problémů nevysvětlených (například proč jsou cyklické konjugované systémy tak stálé, mechanismus elektrofilní aromatické substituce, substituční efekty,...), a proto byl vytvořen prostředek, který chybějící informace doplní.

Pro splnění cílů bakalářské práce byla na základě odborné pedagogické literatury [4] vybrána kritéria pro hodnocení učebnic chemie. Podle nich bylo porovnáno několik vybraných učebnic pro ZŠ a SŠ. Výsledky hodnocení byly zpracovány do dvou grafů. Na základě těchto poznatků byly vytvořeny výukové materiály na téma Aromatické sloučeniny, zahrnující vedle textových podkladů též PowerPointovou prezentaci a metodické pokyny pro učitele.

Diplomovou práci v navazujícím studiu učitelství bych mimo jiné ráda doplnila o další didaktické materiály vhodné k upevnění a prohloubení učiva (didaktická hra, kvíz, pracovní listy,...). Vytvořené materiály ověřím v praxi a podle výsledků upravím tak, aby mohly být všestranně použitelné pro učitele chemie i jejich žáky.

9 SHRnutí

Tomanová, M.: *Materiály pro výuku tématu Aromatické sloučeniny na gymnáziích.*

Bakalářská práce PŘF UK v Praze, Katedra učitelství a didaktiky chemie.

Téma Aromatické sloučeniny je v středoškolských učebnicích často zpracováno neúplně, je mu věnováno málo prostoru a není dostatečně obsáhlé. Proto byly vytvořeny výukové materiály na téma Aromatické sloučeniny tak, aby po všech stránkách odpovídaly mým představám a požadavkům. Jedná se tedy o vlastní učební pomůcku, zaměřenou především na obsah učiva.

Empiricky bylo zjištěno, jak je téma Aromatické sloučeniny zpracováno v dostupných učebnicích pro ZŠ i SŠ a jednotlivé učební materiály byly za pomoci vybraných kritérií vzájemně porovnány. Na základě inspirace středoškolskými a vysokoškolskými učebnicemi byly poté vytvořeny zde zmíněné vlastní výukové materiály, včetně metodických pokynů pro učitele a PowerPointové prezentace, která pomáhá dané učivo vizualizovat.

Diplomová práce v navazujícím studiu učitelství bude rozšířena o další didaktické prostředky vhodné k upevnění a prohloubení učiva.

SUMMARY

Tomanová, M.: *Materials for education on theme Aromatic compounds at secondary schools.* Bachelor thesis, Faculty of Science Charles University in Prague, Department of Teaching & Didactics of Chemistry

The theme of Aromatic compounds is not covered fully in secondary school textbooks, the theme is given little space and it is not broad enough. For this reason this teaching materials on Aromatic compounds was created, so that it fully corresponds to my ideas and requirements. The bachelor thesis is my own teaching material focused mainly on the content of teaching.

First it was explored empirically how the theme of Aromatic compounds was covered in textbooks available for primary and secondary schools. These particular teaching materials were compared using my own criteria. After that this teaching materials were created with inspiration from secondary school and academic textbooks. A guideline for teachers is

attached to the text materials together with a PowerPoint presentation for help with visualising of the subject.

This in the following Master degree of teaching will be extended with other didactical materials suitable for strengthening and broadening the subject.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

Použité zdroje:

- [1] MŠMT: *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. Praha: VÚP 2007, [online 2011-04-22] dostupné z URL: <http://www.vuppraha.cz/wp-content/uploads/2009/12/RVPZV_2007-07.pdf>
- [2] MŠMT: *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Praha: VÚP 2007, [online 2011-04-22] dostupné z URL: <http://www.vuppraha.cz/wp-content/uploads/2009/12/RVPG-2007-07_final.pdf>
- [3] ČTRNÁCTOVÁ, H., ČÍŽKOVÁ, V., MARVÁNOVÁ, H., PISKOVÁ, D. *Přírodovědné předměty v kontextu kurikulárních dokumentů a jejich hodnocení*. Praha: Univerzita Karlova v Praze – Přírodovědecká fakulta, 2007.
- [4] PRŮCHA, J. *Učebnice: teorie a analýzy edukačního média. Příručka pro studenty, učitele, autory učebnic a výzkumné pracovníky*. Brno: Paido, 1998.
- [5] KALHOUS, Z. *Školní didaktika*. 1. vydání, Praha: Portál, s. r. o., 2002.
- [6] MŠMT: *Katalog požadavků zkoušek společné části maturitní zkoušky - chemie*. Praha: Centrum pro zjišťování výsledků vzdělávání, 2008, [online 2011-04-22] dostupné z URL: <<http://www.novamaturita.cz/katalogy-pozadavku-1404033138.html>>
- [7] BENEŠ, P., PUMPR, V., BANÝR, J. *Základy chemie II*. 3. vydání, Praha: Fortuna, 2003.
- [8] BÍLEK, M., RYCHTERA, J. *Chemie na každém kroku*. 1. vydání, Praha: Moby Dick, 2000.
- [9] LOS, P., HEJSKOVÁ, J., KLEČKOVÁ, M. *Chemie se nebojíme, 2. díl chemie pro základní školu*. 1. vydání, Praha: Scientia, 1996.
- [10] NOVOTNÝ, P., SEJBAL, J., ZEMÁNEK, F., SVOBODOVÁ, M., ČTRNÁCTOVÁ, H., DUŠEK, B. *Chemie pro 9. ročník ZŠ*. Praha: SPN, a. s., 1998.
- [11] PEČOVÁ, D., KARGER, I., PEČ, P. *Chemie II pro 9. ročník ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií*. Olomouc: Prodos, 1999.
- [12] ŠKODA, J., DOULÍK, P. *Chemie 8, učebnice pro ZŠ a víceletá gymnázia*. 1. vydání, Plzeň: Fraus, 2007.
- [13] BENEŠ, P., PUMPR, V., BANÝR, J. *Základy praktické chemie II*. 1. vydání, Praha: Fortuna, 2000.
- [14] BÍLEK, M., RYCHTERA, J. *Laboratorní cvičení k učebnici Chemie na každém kroku*. 1. vydání, Praha: Moby Dick, 2000.
- [15] NOVOTNÝ, P., SEJBAL, J., ZEMÁNEK, F., SVOBODOVÁ, M., ČTRNÁCTOVÁ, H. *Pracovní sešit pro 9. ročník*. Praha: SPN, a. s., 1999.
- [16] ŠMÍDL, DOULÍK, ŠKODA. *Chemie 9, pracovní sešit pro základní školy a víceletá gymnázia*. 1. vydání, Plzeň: Fraus, 2007.
- [17] BENEŠOVÁ, M., SATRAPOVÁ, H. *Odmaturuj z chemie*. 1. vydání, Brno: Didaktis, 2002.
- [18] PUMPR V., ADAMEC M., BENEŠ P., SCHEUEROVÁ V. *Základy přírodovědného vzdělávání pro SOŠ a SOU, chemie*. Praha: Fortuna, 2008.
- [19] VACÍK, J. a kol. *Přehled středoškolské chemie*. 2. vydání, Praha: SPN, a. s., 1990.
- [20] BANÝR J., BENEŠ P. a kol. *Chemie pro SŠ*. 2. vydání, Praha: SPN a. s., 1999.

- [21] KOLÁŘ, K., KODÍČEK, M., POSPÍŠIL, J. *Chemie (organická a biochemie) II pro gymnázia*. 1. vydání, Praha: SPN, a. s., 1997.
- [22] KOTLÍK, B., RŮŽIČKOVÁ, K. *Chemie II v kostce pro střední školy*. 3. vydání, Havlíčkův Brod: Fragment, 2004.
- [23] KRATOCHVÍL, B., SVOBODA, J. *Chemie pro střední školy 2b*. 1. vydání, Praha: Scientia, 2000.
- [24] MAREČEK, A., HONZA, J. *Chemie pro čtyřletá gymnázia 2. díl*. 1. vydání, Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2000.
- [25] McMURRY, J. *Organická chemie*. 1. vydání, Brno: VUTIUM, 2007.
- [26] PACÁK, J. *Jak porozumět organické chemii*. Praha: Karolinum, 1997.
- [27] TRNKA, T. a kol. *Organická chemie pro posluchače nechemických oborů*. Skriptum PřF UK v Praze, 2002.
- [28] FIKR, J., KAHOVEC J. *Názvosloví organické chemie*. 3. vydání. Olomouc: Rubico, 2008.
- [29] KAHOVEC, J., LIŠKA, F., PALETA, O. (podle PANICO R., a kol.). *Průvodce názvoslovím organických sloučenin podle IUPAC – doporučení 1993*. Praha: Academia, 2000.
- [30] STREBLOVÁ, E. *Souhrnné texty z chemie pro přípravu k přijímacím zkouškám (přírodovědné obory, lékařství) II. díl*. Skriptum UK v Praze, 2004.
- [31] HALBYCH, J., HYBELBAUEROVÁ, S., ŠULCOVÁ, R. *Problematika aromaticity v učivu organické chemie*. In: *Chemické listy*, 2006, roč. 100, č. 8, ISSN 0009-2770.
- [32] HÁJKOVÁ, Z., ŠMEJKAL, P. *Nanotechnologie pro život. (Materiál k projektu 5P)*. Praha: UK v Praze, PřF 2010.
- [33] PACÁK, J. *Stručné základy organické chemie*. Praha: SNTL, 1975.
- [34] DOULÍK, P., ŠKODA, J., JODAS, B., BIELIKOVÁ, E., KOLKOVÁ, J. *Chemie 8 příručka učitele pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus, 2006.
- [35] ZÁKOSTELNÁ, B., ŠULCOVÁ, R. *Realizace školního vzdělávacího projektu s multimediální podporou*. In: *Alternativní metody výuky 2010 – 8. ročník*. Praha: UK v Praze, PřF: Gaudeamus UHK 2010.

Seznam použitých webových odkazů:

- [36] Chemické listy – Kekulé [online 2011-04-15] dostupné z URL: <<http://chemicke-listy.cz/Bulletin/bulletin342/bulletin342.pdf>>
- [37] výukový web Gymnázia a střední odborné školy pedagogické Jeronýmova v Liberci – Kekulé [online 2011-04-15] dostupné z URL: <<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/arome/vzorce/kekule.htm>>
- [38] Aldebaran Bulletin – nanotechnologie [online 2011-04-15] dostupné z URL: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_25_uhl.html>
- [39] Grafen [online 2011-04-15] dostupné z URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafen>>
- [40] Sigma – Aldrich benzen [online 2011-05-04] dostupné z URL: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/ProductDetail.do?lang=en&N4=12540|FLUKA&N5=SEARCH_CONCAT_PNO|BRAND_KEY&F=SPEC>
- [41] Sigma – Aldrich toluen [online 2011-04-23] dostupné z URL: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/ProductDetail.do?lang=en&N4=179418|SIAL&N5=SEARCH_CONCAT_PNO|BRAND_KEY&F=SPECi>

- [42] Sigma – Aldrich naftalen [online 2011-04-23] dostupné z URL:
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/ProductDetail.do?lang=en&N4=84679|FLUKA&N5=SEARCH_CONCAT_PNO|BRAND_KEY&F=SPEC>
- [43] Školní vzdělávací program ZŠ Drtinova [online 2011-05-04] dostupné z URL:
<<http://www.zsdrtinova.cz/vzdelavaci-program>>
- [44] Školní vzdělávací program Gymnázia Na Zatlance [online 2011-05-04] dostupné z URL: <<http://www.zatlanka.cz/dokumenty/skolni-vzdelavaci-program-2010.pdf>>

Zdroje obrázků:

- [45] Broskve [online 2011-04-23] dostupné z URL:
<<http://www.agf.nl/nieuws/2010/0601/zomerfruit.jpg>>
- [46] Třešně [online 2011-04-23] dostupné z URL:
<http://www.moda.cz/e/sites/www.moda.cz/Autori/IrenaVoriskova/20080617_Tresn_Idealni_Ovoce_Pro_Hubnuti/images/1.jpg>
- [47] Kekulé [online 2011-04-14] dostupné z URL:
<<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/Frkekul%C3%A9.jpg>>
- [48] Struktura benzenu - had [online 2011-04-14] dostupné z URL:
<<http://members.optusnet.com.au/charles57/Creative/Brain/img/kekule.gif>>
- [49] Struktura benzenu - opice [online 2011-04-14] dostupné z URL:
<<http://img.geocaching.com/cache/9d753511-3f84-4ca7-87ac-bef34d2a1321.jpg>>
- [50] Struktura benzenu - Dewar, Ladenburg [online 2011-04-15] dostupné z URL:
<<http://www.jagemann-net.de/chemie/chemie12lk/aromaten/files/benzolformeln.gif>>
- [51] Konjugovaný dien [online 2011-03-19] dostupné z URL:
<http://bca.brookscole.com/ilrn/books/mcoc06q/figure14_2.swf>
- [52] Benzen [online 2011-03-19] dostupné z URL:
<<http://image.wistatutor.com/content/feed/tvcs/Benzene201.JPG>>
- [53] Uhlí [online 2011-04-23] dostupné z URL:
<http://i.lidovky.cz/09/082/lngal/ABC2d351b_uhli.jpg>
- [54] Ropná plošina [online 2011-04-23] dostupné z URL:
<<http://www.treehugger.com/oil-industry-warning.jpg>>
- [55] Fullereny [online 2011-04-14] dostupné z URL:
<<http://www.fulleren.com/images/img1.gif>>
- [56] Nanotrubičky [online 2011-04-14] dostupné z URL:
<http://www.hytep.cz/data/clanky/storage2/nano_uhlik.JPG>
- [57] Grafen [online 2011-04-14] dostupné z URL:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Graphen.jpg>>
- [58] Regioselektivita [online 2011-04-22] dostupné z URL:
<http://bca.brookscole.com/ilrn/books/mcoc06q/16_10.swf>
- [59] Benzen – elektrostatický potenciál [online 2011-04-23] dostupné z URL:
<<http://chemistrymalta.files.wordpress.com/2011/01/benzene.png>>

11 PŘÍLOHY

CD - prezentace