

PROSTOROVÁ PŘEDSTAVIVOST ŽÁKŮ VE VÝUCE ORGANICKÉ CHEMIE

JIŘÍ ŠIBOR

Masarykova univerzita v Brně

OBSAH

ÚVOD A CÍLE	3
OBEČNÁ ČÁST	5
1. Proč o trojrozměrném uspořádání molekul a prostorových představách?	5
2. K názvu práce	6
3. Předpoklady člověka k prostorové představivosti	7
4. Prostorová představivost a tvořivost – ruku v ruce	8
5. Pomůcky k objasňování stereochemických termínů a verifikaci představ	9
6. Jak klasifikovat talent? Nebo raději ne?	10
7. Výuka stereochemie na základní škole	11
8. Výuka stereochemie na střední škole	11
9. Kde hledat informace a náměty	12
10. Prolog	14
SPECIÁLNÍ ČÁST	17
1. Poprvé o prostorovém uspořádání	17
2. Základní pojmy k představám o prostorovém uspořádání molekul	18
3. Typy chemických vzorců a znázorňování molekul. Modely.	22
3.1. Orbitalové modely	24
3.2. Kuličkové modely	25
3.3. Tyčinkové modely	26
3.4. Kalotové modely	27
3.5. Počítačové modely	28
3.6. Význam modelů pro výuku chemie	30
3.7. Perspektivní a projekční vzorce	32
4. Chemická vazba	33
5. Konformace organických sloučenin	37
5.1. Konformace acyklických sloučenin	37
5.2. Konformace cyklických sloučenin	43
5.3. Konformace dalších jednoduchých kruhů	47
5.4. Konformace polycyklických sloučenin	49
5.5. Izomerie u bicyklických systémů „můstkových“	50
6. Geometrická izomerie	51
6.1. <i>cis-trans</i> -Izomerie na dvojně vazbě	51
6.2. <i>cis-trans</i> -Izomerie cyklických sloučenin	55
6.3. Izomerie u sloučenin s větším počtem dvojných vazeb	57
6.4. Geometrická izomerie na násobných vazbách mezi neuhlíkovými atomy	58
6.5. <i>s</i> -Izomerie nenasycených sloučenin	59
7. Optická izomerie	60
7.1. Opticky aktivní látky s uhlíky jako centry chiralit	64
7.2. Způsoby stanovení konfigurace opticky aktivních látek	66
7.3. Sloučeniny s neuhlíkovým atomem jako centrem chiralit	72
7.4. Atropoizomerie	74
7.5. Optická izomerie jiných typů chirálních molekul	75
7.6. Optická aktivita a život	77
8. Dynamická stereochemie	78
8.1. Stereochemický průběh substitučních reakcí	78
8.2. Stereochemický průběh eliminačních reakcí	84
8.3. Stereochemický průběh adičních reakcí	88
8.4. Stereochemický průběh molekulárních přesmyků	95
ZÁVĚR	98
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	99

ÚVOD A CÍLE

„Prostorová představivost žáků ve výuce organické chemie“ si klade za cíl zpracovat, respektive zpracovat oblast chemie tradičně nazývanou stereochemií do forem vhodných pro výuku na základních a především středních školách s využitím stávajících učebnicích plánů, bez začleňování dalších kapitol, ale také bez dalšího navršení nových termínů, případně na úkor pojmové základny dosud používané.

Téma bylo zvoleno z důvodu nedostatečného začleňování problematiky do učiva, přestože právě trojrozměrnost molekulových systémů je jedním z atributů organismů, zde myšleno především na nukleoproteinové soustavy. Druhým důvodem zpracování uvedeného tématu jsou jisté komplikace při myšlenkovém procesu chápání a posuzování trojdimensionálních soustav žáky a studenty všech typů škol. A přitom pozorujeme významné volání po spojení abstraktního myšlení a prostorové představivosti žáků ve moderní výuce chemie, o to víc při výuce chemie organické a s ní úzce související chemie bioorganické.

Práce je členěna tradičně (v chemii) do literární části (zde označena jako Obecná část), kde jsou zpracovány soudobé poznatky o anatomickefyziologických možnostech prostorové představivosti především se zaměřením na věk a pohlaví dítěte. Další část je věnována možnostem tvůrčích činností při hledání podstaty, prostřednictvím struktury, molekul a jejich chování v trojrozměrném nebo čtyřrozměrném prostoru. Konečně se zabývá otázkami a úvahou o problémech s hodnocením činností žáků na poli stereochemie. V této stati je diskutována také otázka diagnostiky sledované problematiky a omezení v oblasti klasifikace žáků za výsledky osvojení si těchto poznatků a jejich reprodukce s důrazem na fyziologické rozdíly mezi žáky k trojrozměrnému vnímání. Dále pak je provedeno stručné shrnutí recentních poznatků z oblasti statické i dynamické stereochemie a ostatních oblastí chemie opírajících se o prostorovost a symetrii s trojrozměrných vnímáním. Je nutné předeslat, že vzhledem k velkému množství inspirujících odborných, didaktických i hraničních článků na studované téma nebylo možné zahrnout do tohoto spisu všechny. Byly vybrány tedy takové, které by mohly být námětem pro učitele chemie, z kterých jsem bezprostředně vycházel nebo se objevily v posledním období.

Ve speciální části jsou navrženy náměty pro začlenění prvků souvisejících a vycházejících z prostorové představivosti do tradičních učebnic plánů základních a středních škol. Základní škola je co do rozsahu, který jí je v habilitační práci věnován ochuzena. Ovšem co do rozsahu zapojení prostorové představivosti a prostředků jak vniknout do mikrosvěta (například prostřednictvím modelů struktur či jiných i třeba dvojrozměrných pomůcek) nikoli. Speciální část je, jak bylo naznačeno v předcházející větě, věnována výuce prostorového uspořádání organických molekul na školách středních, podle koncepce gymnázií. Hovoří se zde o vlivu prostorového uspořádání na chemické, fyzikální i biologické vlastnosti organických i bioorganických sloučenin. Dále o vlivu na reaktivitu a tedy chování organických molekul v prostoru, ale i čase.

Speciální část, přestože je uvozována didaktickou poznámkou nemůže být chápána jako oddíl, který je třeba včlenit v celé své šířce do stávajících, dejme tomu, učebnic. Některé informace jsou rozsáhlejší z důvodů pomoci vyučujícím při hlubším pochopení stereochemických pojmů a uvedených termínů, hledání podobností a souvislostí. Na druhé straně nemůže být chápána jako vysokoškolský učební text, jelikož mnohé informace (ve moderní vysokoškolské chemii probírané) nejsou kompletní nebo zcela chybí (separace enantiomerů, asymetrická syntéza apod.).

Jelikož možnosti člověka pro trojrozměrné vnímání jsou do určité míry omezené, je diskutována možnost využití vhodných učebních pomůcek a prostředků pro snazší pochopení a osvojení si prezentované problematiky. Zde je na mysli především odstup od tradiční prezentace učební látky „křída a tabule“, tedy prostředků jež je možno označit jako planární k využívání trojrozměrných pomůcek jako jsou modely a molekulové stavebnice až po aplikaci takových planárních prostředků, které trojrozměrné představy evokují tj. počítačová a multimediální zařízení. Na takové možnosti je v textu několikrát upozorněno.

Prostorová představivost ve výuce organické chemie umožňuje pochopit zákonitosti gno-seologie vnitřní stavby molekul a využití těchto poznatků pro usuzování na jejich fyzikální, chemické i biologické chování. Rozšiřuje obzor pro poznávání objektivního světa na základě abstraktního myšlení v modelových představách „neviditelného světa atomů a molekul“.

OBECNÁ ČÁST

1. Proč o trojrozměrném uspořádání molekul a prostorových představách?

Každý organismus má specifický tvar, který je vcelku zachován i při neustálých změnách, které probíhají v jeho buňkách. Při svém pohybu nabývá ovšem rozličných konformací. Lidská ruka otevřená nebo opět zavřená v pěst je stále jednou a touž rukou a touž částí lidského těla, prostě ji velmi snadno identifikujeme. Pták sedící na větví či vznášející se ve vzduchu je stále jeden a týž organismus, ovšem v různých konformacích. U některých nižších tvorů je dokonce i určitá část těla po zásazích nepříznivými vlivy nebo po těžkých zraněních, resp. po odnětí určité části těla, částečně nebo úplně regenerována¹.

Na živých objektech pozorujeme vnitřní morfologickou členitost a diferenciaci (různé orgány), která umožňuje rozmanité fyziologické funkce. Množina těchto úkonů je vlastně „život“, tj. chování organismu, jeho odpovědi na různé podněty, vnitřní i vnější¹.

A právě tak jak jsou trojrozměrné organismy a jejich základní a stavební jednotky nazývané buňky, z nichž jsou složeny – jsou dále buňky složeny z menších, opět trojrozměrných, útvarů zvaných buněčné organely... Až se konečně dostaneme na molekulární úroveň v této zjednodušené hierarchii uspořádání živých soustav – do oblasti molekul. A jsou to především tyto titěrné objekty, které, právě proto že jsou trojrozměrné a v různém i když specifickém uspořádání, zajišťují biodiverzitu živé přírody. Je proto na místě, abychom se zajímali o to proč a jakým způsobem jsou molekuly tvořící organismy uspořádány a dokázali se v 3-D prostoru, resp. v 3-D prostoru a čase pohybovat – „proniknout“ do nitra molekul. Proto je následující spisec věnován problematice prostorového uspořádání organických molekul a jejich chování v 3-D projekci, případně ještě v čase ve kterém podléhají změnám, které jistě přispěli i k evoluci na této planetě.

Rozvoj moderní chemie nastal až po druhé světové válce. Pokrok v jejím chápání je spjatý především s objasnění teorií sil, které drží molekuly sloučenin pohromadě, nových metod analýzy molekulové struktury včetně předpovězení prostorového uspořádání molekul nebo dokonce vytipování vlastností a chování ještě nenasyntetizovaných látek. Vědecky podložené zprávy o stereochemii organických (a nejen) molekul můžeme datovat až do období 60. let minulého století. Aspekty trojrozměrného chápání stavby molekul jsou nezbytné nejen pro uspořádání třídy určitých jevů, ale tvoří základ pro správné vysvětlení reaktivity a vlastností molekul. V dnešním úsilí vnést světlo do oblasti biologických jevů, pochopit děje v biologických systémech je nevyhnutelné používání stereochemických metod v širokém měřítku a pohybovat se v termínech trojrozměrného prostoru a času.

Je smutné, že současné vyučování chemii ať už na školách základních tak i středních stále vyvolává, svým přístupem k organické a bioorganické chemii, představu planarity a strnulosti organických i bioorganických struktur u našich žáků. A právě uvedená práce se má pokusit o ná-

pravu tohoto stavu. Klade si za cíl pomoci jak učitelům současným tak těm budoucím poskytnout odrazový můstek pro vyučování o prostorové stavbě a chování molekul, především na poli organické chemie a od ní odvozené chemie bioorganické až dejme tomu k biochemii skrz chemii makromolekulární.

Proč si dovoluji konstatovat, že stav vyučování chemie v oblasti prostorového uspořádání jejích objektů je, na základních a především středních školách, mírně řečeno neutěšený. Vyplývá to z mých téměř desetiletých zkušeností, kdy jsem příležitostně vyučoval na školách různých stupňů, a úrovní výuky chemie. Většinou jsem učil v maturitních ročnících předmět obyčejně nazývaný Seminář z chemie, jež si klade za cíl připravit žáky gymnázií k maturitní zkoušce a k přijímacím zkouškám na školy vysoké. A především v tomto předmětu, i po diskusích s vyučujícími jsem došel k přesvědčení, že

Prostorová představivost, zprostředkovaná stereochemií na poli organické chemie, byla a troufám si říci stále je, až na malé výjimky, opomíjena a to jak v základní výuce základních škol, tak, bohužel, i na školách středních (gymnáziích). Vyučující se obvykle spokojují s konstatováním, že vazebné úhly v nasycených alifatických sloučeninách svírají úhel $109^{\circ}28'$ (žáci jej, dle mého názoru zbytečně, dokonce znají přesně), takže molekula methanu i jeho homology mají trojrozměrný tvar. Methan má tvar tetraedru (pravidelného čtyřstěnu) – pod tímto termínem, myšleno tetraedr, si žáci obvykle nedokáží představit vůbec nic – je pro ně velkou neznámou. Ve vyšších homolozích methanu se tyto čtyřstěny dotýkají v rozích – to už je vrcholem výuky o prostorové stavbě organických molekul na středních školách. U geometrické izomerie se seznámí s pojmy *cis*- a *trans*- izomerie (dnes již zastaralými a zbytečnými deskriptory; ovšem z důvodů přijímacích zkoušek na vysoké školy zatím nezbytnými) a možná o D- a L- konfiguraci v chemii sacharidů a aminokyselin, nic víc. Výklad optické izomerie se omezil na objasnění termínu „asymetrický uhlík“, logického nesmyslu. Dále se nejčastěji hovoří o existenci optických antipodů (termínu antipod se už také nepoužívá) na klasických příkladech kyseliny mléčné nebo kyseliny vinné, kde přistoupí ještě pojem diastereomer. Odvození absolutní konfigurace opticky aktivních látek by bylo hledáním jehly v kupce sena. Seznámí se s existencí D- a L-glyceraldehydů a využití těchto deskriptorů pro popis opticky aktivních základních cukrů a α -aminokyselin. Na některých školách se navíc probírá, na exaktní znalosti složitě, převádění vzorců mezi různými projekcemi.

2. K názvu práce

Habilitační práce nese název „Prostorová představivost žáků ve výuce organické chemie“. Proč jsem zvolil takový název a ne jiný? Například „Stereochemie a výuka chemie“ apod. Důvod je jednoduše vysvětlitelný. Přestože teze předkládané práce vychází z poznatků stereochemie, netroufnul jsem si, v současné době, takového názvu použít, jelikož informace z tohoto oboru jsou zde pouze prostředkem pro pochopení prostorového uspořádání organických molekul a jejich chování v prostoru a čase. Současná stereochemie je daleko obsáhlejším oborem, jehož například pojmová základna je tak rozsáhlá, že přesahuje rámec dokonce vysokoškolské výuky chemie a je

vyučována jako speciální kurz nebo seriál speciálních kurzů pro určité specializace a obvykle jako předmět volitelný. Hlavním cílem obsahu habilitačního spisu je tedy vybudování správných představ o stavbě organických látek a jejich chování a možnostech jakou formou tyto informace s minimální pojmovou náročností podat prostřednictvím učitelů chemie jejich žákům. Proto jsem také v rámci didaktické přípravy studentů učitelských kombinací s chemií na naší univerzitě zavedl předmět s názvem Prostorová představivost ve výuce chemie a referoval o stejném tématu i na pozvaných přednáškách pro učitele základních a středních škol v rámci dalšího vzdělávání učitelů. Předmět samotný i referáty pro učitele jsou/byly prováděny formou seminářů s maximálním využitím dostupných trojrozměrných pomůcek včetně počítačů až multimédií, a práce s nimi v rámci vyučovacího procesu.

Jak bylo řečeno, předkládaná práce si klade za cíl s využitím pojmové základny chemie vyučované podle současného kurikula vyvolat u žáků správnou představu a důvody trojrozměrnosti v chemii – proto druhá část názvu ve výuce... Má vypíchnout ty oddíly organické chemie, kde je takové uvažování vhodné ba přímo nutné pro pochopení určitých probíraných jevů a souvislostí. Je snahou podávat takové informace snadno přístupnou formou, pro žáky i učitele, tedy především na příkladech a modelech. Vždyť model je základem pro pochopení tak rozsáhlé vědy jakou chemie bezesporu je. Nebýt modelů (a teď nemám na mysli modely pouze struktur), nebylo by snad ani možné chemii s úspěchem pochopit^{2,3}.

3. Předpoklady člověka k prostorové představivosti

Každý člověk (*Homo sapiens sapiens*) se narodil, mimo jiné, také s darem prostorového vidění a tedy do jisté míry i prostorové představivosti. Sice není v přírodě samojediným takovým tvorem, ale pouze on vládne schopnostmi s trojrozměrnými objekty pracovat, analyzovat je, převádět je do 2-D roviny nebo-li je planarizovat, případně provádět i jiné projekce rozličných objektů.

Ne každý člověk ovšem má tento „smysl“ rozvinut ve stejné míře. Schopnosti spojené s prostorovým viděním v odrazu prostorové představivosti a předpokladů pro tvorbu trojrozměrných předmětů v rovině papíru je pro každého kterého člověka vlastností individuální a značně diferentní. Jak vyplývá z psychologických studií je míra schopnosti pro práci člověka s trojrozměrnými objekty v rovině dána do jisté míry rozdíly v chování obou pohlaví. Samozřejmě nelze opomenout ani věk subjektu u kterého chceme umění trojrozměrných představ (příměr je na místě – srovnajme činnost malířů či sochařů s tématem) evokovat a evolovat.

Současná psychologická literatura pojednávající o rozdílech mezi pohlavími uvádí čtyři znaky, které muže od ženy jakýmsi způsobem odlišují. Za prvé jsou dívky zřejmě výřečnější. Přitom až do jedenácti let jsou verbální schopnosti chlapců a dívek téměř stejné. Později však dívky očividně chlapce předbíhají – to trvá po celou dobu středoškolských studií. Tato verbální nadřazenost dívek nad chlapci se projevuje jak v plynulosti mluveného projevu v mateřském jazyce, tak i v chápání jazyka i v psaných textech včetně tvořivého psaní. Za druhé, chlapci v období dospívání nápadně vynikají v prostorovém vidění. Prakticky se tato vlastnost projevuje zejména v kreslení

třírozměrných objektů na dvojrozměrný papír (při řešení úloh v deskriptivní geometrii). Za třetí, i když mají chlapci a dívky během základní školy stejné výsledky v matematice, kolem 12 let se začínají výrazně prosazovat matematické schopnosti chlapců. Za čtvrté jsou muži ve srovnání s ženami agresivnější – ve společnostech, kde není na agresivitu kladen patřičný důraz je ovšem tento rozdíl zanedbatelný⁴. Jak to s těmi čtyřmi znaky, které oddělují v psychické oblasti muže od žen, skutečně je?

Dnes se má za to, že pozorované rozdíly mezi chlapci a dívkami spíše souvisejí s tělesnou vyspělostí vůbec, než s dědičně daným pohlavním rozdílem. Dívky dospívají dříve než chlapci, což se může projevit právě ranějším vývojem řečových center v levé polokouli mozku, a tak vysvětlit jejich verbální obratnost. Ranější vývoj řečových center však může být na jedné straně překážkou vývoje zrakově-prostorových schopností, což by ovšem na druhé straně tuto nadřazenost chlapců vysvětlovalo. Když se tato domněnka u chlapců a dívek ověřovala, byl vybrán vzorek, v němž první polovina dívek a chlapců dospěla brzo, druhá později. Ti, co dospěli brzo – bez ohledu na to, zda šlo o chlapce nebo dívky, byli výřečnější v širším slova smyslu, zatímco ti, co dospěli později – opět bez ohledu na pohlaví, vynikly v prostorovém vidění. Vlastní význam pohlavních rozdílů výše uvedených projevů je z dnešního pohledu zjevný: odrážejí spíše než cokoli jiného časnější dospívání dívek. S lepším prostorovým viděním později dospívajících chlapců lze spojit matematické schopnosti. V tomto ohledu vystupuje do popředí hned několik vlivů, které celý problém jasně projasňují. Vezměme třeba kulturní rozdíly či učitelův přístup ve škole, založený na přežívající představě, podle níž jsou chlapci vhodnějším subjektem k výuce matematiky či deskriptivní geometrie než stejně staré dívky. A tak se zdá, že s ohledem na tyto domnělé rozdíly lze odmítnout tvrzení, podle něhož jsou dívky spíše sociálnější, kdežto chlapci analytičtější a lépe formulují abstraktní koncepty, nebo že dívky dosahují na podkladě vloh lepších výsledků v předepsané výuce a opakování úkolů⁴. A tak zůstal poslední pronikavě rozdílný znak v chování mezi muži a ženami, kterým je agresivita. To je ovšem už o něčem jiném...

Od úvah o možnostech člověka projevat trojrozměrné objekty v dvojrozměrné dimenzi je jen krůček, a bylo to už naznačeno, k úvahám o jeho kreativitě v souvislostech s prostorovým viděním respektive s prostorovou představivostí.

4. Prostorová představivost a tvořivost – ruku v ruce

Existuje celá řada morfologických, fyziologických i behaviorálních znaků, které dělají člověka člověkem. Vzpomeňme vzpřímenou postavu, bipední chůzi, schopnost spojit malík s palcem a dokonce vytvořit „špetku“, stavbu chrupu či velikost mozku nebo umění řeči. Nepochybně mezi takové vlastnosti či schopnosti patří také kreativita. Vždyť to byla právě ona (mimo jiných), která byla hnací silou v tak dramatické evoluci člověka.

A právě předmět studia stereochemie na základních, středních i vysokých školách dovoluje celou řadu tvůrčích aktivit spojených s chováním molekul v prostoru a čase. Zcela jistě teď nemám na mysli psaní, nějakých esejů či seminárních prací, které jsou sice projevem kreativity, ale to snad

v každém předmětu. Jedná se především o hrátky s modely a molekulovými stavebnicemi (je smutné, že přestože ve školách tyto stavebnice jsou – žáci o nich často vůbec neslyšeli), hledání chirálních útvarů v objektech každodenního života a úvahy nad chiralitou vůbec⁵, zobrazování třírozměrných předmětů v rovině papíru či tabule, vytváření vlastních modelů struktur organických či bioorganických látek a mnoho dalších. Jak každý učitel ví tvořivá práce ve vyučovacím procesu velice pomáhá osvojení si znalostí na základě „ohmatání“ si podstaty studovaného problému. Hlavním prostředkem výuky chemie je (a doufám, že i zůstane i když mu dnešní doba příliš nesvědčí) bezesporu pokus. Bohužel oblast stereochemie nenabízí vhodné (časově, ekonomicky i z hlediska bezpečnosti práce) možnosti pro klasické pokusnictví. Pokus však můžeme modelovat ať už s pomocí modelů struktur či podobných stavebnic a pomůcek nebo s využitím počítačových programů k tomu vyhotovených. Další výhodou (jak pro žáky tak i pro většinu učitelů) je, že pokud poskytneme žákům modely a návody jak na to, nebude snad ani nutné provádět zvlášť obsáhlá ověřování získaných znalostí (viz dále). Jeden (můj osobní) příklad.

5. Pomůcky k objasňování stereochemických termínů a verifikaci představ

V rámci látky výuky o nukleových kyselinách jsem nabídnul žákům jednoho gymnázia možnost volby mezi tradičními formami ověřování znalostí a tím, že doma z jakéhokoliv materiálu a jakýmkoliv způsobem vyhotoví trojrozměrný model ribonukleové či deoxyribonukleové kyseliny. Přestože se našli jedinci, kteří nesouhlasili, většina žáků svá dílka přinesla. Věnovali jsme potom jednu vyučovací hodinu rozboru jejich výtvorů a hledání odlišností a volených aproximací včetně diskusí nad nimi. Musím konstatovat, že přes značné odlišnosti ve zpracování byli všichni, kdo nabídku přijali hodnoceni stupněm výborně, jelikož jak z modelů tak i následné diskuse bylo jasné, že informace o stavbě a funkci nukleových kyselin nastudovali (někteří i nad rámec základní výuky) a vesměs správně pochopili. Dva z samotnými žáky vyrobené modely nukleových kyselin slouží jako pomůcka dodnes, a dokonce i ve výuce biologie.

Jak už bylo opakovaně řečeno, je jedinečným a nezbytným prostředkem pro správné pochopení prostorové stavby molekul a jejich chování v čase a prostoru model struktury. Vždyť stejných (podobných) modelů využívají, při vyvozování svých myšlenek a potvrzení závěrů, i ti nejvýznamnější z badatelů a vědců. O modelech bude obšírně zmíněno ve speciální části stejně jako o využívání počítačů ve stereochemii. Využívání modelů ve výuce chemie bylo věnováno v minulosti vždy několik stran v učebnicích⁶⁻¹⁶ i nepřeberné množství odborných článků¹⁷⁻²¹ a jejich sádka stále narůstá, jelikož, jak známo, dobrých příkladů není nikdy dost.

Co se týče počítačových programů, kterých je také veliké množství, jsou jistě vhodnou pomůckou pro studovanou problematiku. Jejich výčet a podrobnější popis by vydaly na samostatný spisek. Domnívám se však, že jistě postačí kratičký návod: zadejte vhodně volená klíčová slova (modely chemických struktur, programy na tvorbu chemických vzorců a modelů, kreslení chemických vzorců a jejich 3-D optimalizace apod.) do vyhledávačů a Internet nabídne celou škálu takových programů, mnohé, pro základní a střední školu docela postačující, i ve volně přístup-

ných DEMO verzích, nebo v plných verzích k odkoupení. Další užitečné informace poskytnete obsahlý článek v Chemických listech²², který se touto problematikou velice podrobně zabývá.

Další pomůckou, které je pro pochopení chiralidy nepostradatelná je oboustranné zrcadlo ve stojánku, které umožňuje srovnávat objekty před zrcadlem a za ním a určit tak, resp. pochopit je-li ten či jiný předmět chirálním nebo ne. Popis a využití je uveden ve speciální části. Pro správné překreslování projekčních vzorců do Newmanovy projekce velice dobře poslouží zase dva stejně velké kruhy jeden z papíru a druhý z pevné transparentní fólie. Popis a použití je opět ve speciální části. Dále mohu uvést úspěšně využívaný model pro transpozice mezi Fischerovým projekčním vzorcem do Haworthovy projekce. Svislé vazby ve Fischerově projekci jsou vymodelovány z ohebných (např. guma nebo pružinka) a vodorovné z rigidních tyčinek (např. zápalka, hřebík apod.), k sobě jsou vzájemně napojeny pomocí plastické gumy, formely apod. Takový model potom stačí pouze zacyklit podle žádaného počtu atomů v kruhu a vpravo stočit k rovině papíru a model přepsat do roviny ve smyslu pravidel, která jsou však z modelu zřejmá. Tuto pomůcku ve speciální části neuvádím, jelikož nepovažuji až za tak důležité, aby převádění vzorců z Fischerovy do Haworthovy projekce žáci středních škol ovládali.

Pomůcek a návodů jak žákům zpříjemnit brouzdání v nitru molekul je v odborné didaktické literatuře opět celá řada – například chiralita a metodika určování absolutní konfigurace, kromě tradičních učebnicových praktik („volant“ nebo „kříž“)⁹⁻¹⁶, je vysvětlována s použitím nejrůznějších každodenních i různě upravených běžně používaných předmětů^{17, 23-33} anebo obecně známého pravidla pravé ruky³⁴. Také o překreslování vzorců do Newmanovy projekce najdeme příslušné reference³⁵⁻³⁶. Výčet publikací věnovaných problematice didaktických pomůcek pro výuku stereochemie není a vzhledem k současnému zájmu o tento obor asi ani nemůže být vyčerpávající, jelikož jich je několik stovek. Zde uváděné jsou stěžejní anebo horce aktuální.

6. Jak klasifikovat talent? Nebo raději ne?

Jak bylo možné vycítit z předešlých odstavců jsou schopnosti člověka spojené s prostorovou představivostí odvislé od různých hledisek (věk, vyspělost, snad pohlaví, individualita každého aj.). Z tohoto důvodu se domnívám, že by ověřování takových dovedností (toto slůvko se jistě hodí více než znalostí), na středních školách, mělo být prováděno bez jakékoliv klasifikace a diferencí mezi žáky. Stačilo by snad slovní ohodnocení a u méně „talentovaných“ ocenění snaživosti. Podle toho potom klasifikovat plus nebo minus, prospěl či neprospěl, bez podrobnějších diferenciací. Myslím si, že bychom na tuto problematiku, z hlediska diagnostického, měli pohlížet dejme tomu jako na výtvarnou, hudební či tělesnou výchovu. I v těchto předmětech nepokládám za rozumné klasifikovat je klasickou škálou pěti stupňů.

Z důvodů výše uvedených se domnívám, že pro zpětnou kontrolu znalostí by mělo být využito především možností tvořivosti, jak bylo uvedeno výše a zmíněno také v další kapitole. Příklady jak takovou úlohu vypracovat nabízí velice zajímavě náměty Murphy³⁷⁻³⁹. Hezké na takovém úkolu je, že využívá modelů na základě kterých žáci řeší jednotlivé položky. Další výhodou je, že

doba na vypracování je odhadována na deset minut, přesto ale postihuje valnou část náplně stereochemie na střední škole, v našich podmínkách na gymnáziu. Pro žáky bude jistě atraktivní v tom smyslu, že celý text budí dojem vědeckého projektu. Jiné úlohy především na pochopení principů chiralidy, tedy odlišení chirálních a achirálních objektů uvádí Luján-Upton⁴⁰ s několika odkazy na práce s podobnou tematikou.

7. Výuka stereochemie na základní škole

Základní škola (přestože ji v souvislosti s tématem práce několikrát zmiňuji) rozsahem studia chemie a především chemie organické a bioorganické nedovoluje příliš zabředávat do podrobností, tedy ani do hlubšího studia struktury látek.

Přesto si myslím, že by se žákům mohly ukazovat modely sloučenin, případně promítat animace chemických pochodů (například esterifikace) nebo jim i dovolit modely sestavovat. Jistě by to přispělo k osvojení poznatků více než například učení se sumárních (souhrnných molekulových) vzorců u sloučenin. Mimochodem fakt, že jsou žáci základních škol s těmito vzorci seznamováni vede často k tomu, že ztratí zcela elementární obraz o obsahu organické chemie a ta se pro ně stane strašákem. Mluvím opět ze zkušeností. V prvním ročníku střední školy dokáže vyvozovat homology alkanů v řadě za sebou 7 žáků z 172 žáků, většina píše nesmyslné C_xH_y . A právě vedení výuky organické chemie už na základních školách čistě podle strukturních (zjednodušených Lewisových vzorců) by jistě bylo odrazovým můstkem pro další..., včetně problematiky stereochemické. Navíc by mnozí objevili v organické chemii logiku, kterou tato již několik desetiletí disponuje (především díky Ingoldovy a pionýrů – nositelů podobných myšlenek) snad ze všech oblastí chemie nejvíce. Potom by nejen přestala (nebo snad aspoň přispěla) být strašákem a to nejen pro studenty vysokých škol, ale i pro středoškoláky.

8. Výuka stereochemie na střední škole

Vyučovací proces (už i na středních školách – gymnáziích) na poli organické chemie a stereochemii nevyjímaje se potýká se závažným problémem, kterým je přehršel pojmů se kterými by se žáci měli během studia seznámit. S tímto neutěšeným stavem se setkáváme jak na školách středních, tak i na univerzitách. Hlavní příčinou tohoto vážného stavu je stále rostoucí rozsah a složitost poznatků z oboru chemie a skutečnost, že nejsme sto tuto záplavu nových informací zvládnout. Mnoho podnětných objevů v chemii v posledních padesáti letech místo aby učinilo chemii přitažlivější, je jedním z hlavních důvodů dnešních problémů. Už Gillespie⁴¹ tvrdí, že v průměrných učebnicích chemie je velmi málo popisné chemie (jen asi 10 %), zatímco výklad principů zabírá průměrně 90 % a to dovoluje pouze nástin toho, co lze nazvat skutečnou chemií, o jejichž principech se předpokládá, že nám mají pomáhat chemii porozumět. Žák, který učební látku zvládne, dovede sice teoreticky stanovit průběh plánované reakce, ale při praktickém provádění syntézy zjišťuje, že reakce probíhá docela jinak než předpokládal, nebo neprobíhá vůbec. Je proto třeba pečlivě vybírat z nových poznatků to nejpodstatnější, zbytečně studenty nezatěžovat teorie-

mi, které za pár let mohou pozbýt platnosti, a že vyučující nemají zapomínat na to, že žáci mají chemii porozumět, mají se naučit chemicky myslet a ne se učit nazpaměť statím, jímž třeba vůbec nerozumí. S nárůstem nových poznatků také souvisí paralela, která jiné poznatky zavrhuje nebo odsouvá do ústraní. Mělo by se tedy zvážit, které informace a v jaké formě žákům poskytnout a které potlačit nebo alespoň vyložit jako okrajové.

V kapitolách, které mají rozvíjet představy o stavbě organických látek najdeme hned několik takových překonaných příkladů, které jsou neustále (dle mého názoru nadbytečně a zbytečně) prezentovány žákům nebo dokonce zařazovány do učebnic, přestože by tyto mohly být vypuštěny případně nahrazeny moderními přístupy ke zvolené problematice. Je evidentní, že zmíněná věta nesouvisí pouze se stereochemií, chemií ale s vědou obecně.

Několik příkladů za všechny. Geometrická izomerie je při výuce neustále spojována pouze s používáním deskriptorů *cis*- a *trans*-. Tato práce není výjimkou, jelikož jejím cílem, jak bylo uvedeno, není změnit pohled na výuku stereochemie, ale přispět ke správným představám o stavbě a struktuře molekul. A přesto by bylo záhodno, abychom v základní výuce těchto deskriptorů přestali používat a nahradili je *E*-, *Z*-systémem určování geometrických izomerů, který vychází z logicky uspořádaných Cahnových-Ingoldových-Prelogových (CIP-deskriptory) pravidel. Když si tato pravidla přečteme a zamyslíme se nad nimi, zjistíme, že nejsou nijak složitá. Pro potřeby základní výuky postačí informace, že pořadí substituentů a tedy k určení nomenklatury izomerů vystačíme se znalostí relativních hmotností atomů a atomových skupin. Další pozitivum je v tom, že podobný, ne, stejný, princip určování priority substituentů můžeme aplikovat při určování absolutní konfigurace na stereogenních centrech opticky aktivních látek. I v tomto případě můžeme zúžit počet používaných deskriptorů (pro potřeby základní výuky stereochemie odražené v organické chemii, ale i bioorganické chemii a biochemii) na *R*- a *S*-systém a ostatní, vžitě, možná i přežitě *threo*- a *erythro*- nebo *D*- a *L*- zcela vypustit. Dosáhneme opět snížení pojmové náročnosti chemie. Na druhé straně si uvědomuji, že je to moje představa a zbožné přání, jehož realizaci se sice nevyhneme, ale ještě chvíli potrvá, protože se s těmito pojmy neustále setkáváme. Nesmíme totiž zapomínat, že žáci středních škol zatím musí vykonávat přijímací zkoušky na školy vysoké a potom bychom jim takovým přístupem mohli uškodit. Je to podobné jako při zavedení jednotek SI před několika desítkami let, a přesto dodnes skoro nenajdete v odborné literatuře délku vazby uvedenou v nanometrech, nýbrž stále v angströmech. Odborná literatura stejně tak pro vžitost používá jednotek energie kalorií na místo kilojoulů nebo jednotek dipólového momentu Debay přestože je doporučováno používat malých hodnot v jednotkách C.m.

9. Kde hledat informace a náměty

Při zpracování speciální části jsem vycházel z recentních středoškolských učebnic a učebních textů pro základní školy a podle těchto pak sestavil kurikulum stereochemie pro střední školy. Velký význam při zpracování náplně přikládám knize prof. Pacáka „Úvod do studia organické chemie“⁴², kterou současně považuji za nejlepší učebnici organické chemie pro střední školy u nás.

Dále jsem použil dostupné vysokoškolské učebnice, bohužel pouze zahraniční^{8-16, 43, 44}. Kvalitní česky psaná učebnice organické chemie bohužel na našem trhu stále chybí. Jelikož by citace přímo ve speciální části narušovaly text zvolil jsem tuto taktiku, aby bylo zpracování rešerše učiněno zadost. Přehled citací není vyčerpávající, protože například v časopisu o chemické výchově vydávaného oddělením pro vyučování chemii Americké chemické společnosti *Journal of Chemical Education* je problematice prostorové představitosti v chemii a stereochemii aspoň jeden článek v každém čísle.

Odborné články publikované v tomto časopise stručným, názorným a metodicky didakticky vhodným způsobem poskytují vyučujícím neocenitelné rady a návody pro efektivní výuku ze všech oblastí chemie. Jelikož je pro vyučující na základních a středních školách využití jeho informací z rozličných důvodů nedostupné, je úkolem didaktiků na vysokých školách takové informace předat řadovým vyučujícím chemie v přijatelné formě, případně je náležitě doplnit a verifikovat.

Na tomto místě si dovoluji uvést několik podnětných a zajímavých článků zabývajících se problematikou stereochemie a prostorové představitosti žáků z posledních padesáti let. Přestože se vesměs jedná o články velice odborné, jsou zpracovány s cílem nabídnout informace z moderní chemie ve formě vhodné pro jejich zpracování do výuky předmětu chemie. Další podnětné a dostupné články k tématu je možné najít například v Chemických listech České chemické společnosti aj.

O konformační analýze pojednávají, pro příklad, články Eliela^{21, 45}, Brescia a Mangiaracina⁴⁶ nebo již zmíněné^{35,36}. Konformační analýza je důležitou součástí organické chemie, která patří již k elementárním prvkům organické chemie, přestože její rozkvět zaznamenáváme až v posledních několika desítkách let. O přírodním původu opticky aktivních látek, o chemickém vývoji řešení problémů přirozených opticky aktivních látek od Oparina („O původu života na Zemi“) referuje Elias⁴⁷. Zahrnuje hlavní skupiny přirozených sloučenin jako jsou nukleové kyseliny, bílkoviny, lipidy, sacharidy, terpenoidní látky, vitamíny aj. Publikace Starkeye⁴⁸ nás informuje o možnostech přepisu mezi projekcemi nejen u sacharidů; zajímavé jsou i odkazy zde uvedené. V článku Abernethyho⁴⁹ nebo Jonase⁵, případně populárně Hart⁵⁰ či Gerber⁵¹ se můžeme seznámit s využitím schopností optické izomerace, představami o dissymetrickém světě, závislostech života na dissymetrických látkách, o původu a stálém chodu života. Chiralitě jako fenoménu a problematikou okolo ní, včetně pojmů a jejich vysvětlování, využití a pokroku v oblasti stereochemie referují jiné práce – z posledního období⁵²⁻⁶².

Ohromný počet pojednání je věnováno, problematice maximálního významu pro prostorové představy stavby a chování molekul, výuce pomocí modelů a molekulových stavebnic. Přestože se, dle mého názoru, podařilo překonat problémy s nedostatkem modelů, jejich využívání stále není dostačující. Odkazy na práce z této oblasti jsou uvedeny v kapitole o pomůckách ve výuce stereochemie. Pro objasnění podrobných mechanismů obsáhlého, ne-li všech, počtu organických reakcí jistě poslouží důkladné uvažování o efektech orbitalové symetrie, obecně známých pod označením Woodwardova-Hoffmanova pravidla⁶³. Modely k objasnění efektů orbitalové symetrie

v organické chemii se zabývá Brown⁶⁴, Johnstone⁶⁵ a třeba také McKay s Boonem (včetně přípojených citací)⁶⁶ vycházejíc od Pearsona⁶⁷.

Dynamickou stereochemii můžeme objevit, pro potřeby středního školství, už v základních vysokoškolských učebnicích, případně v učebnicích specializovaných na stereochemii⁶⁸⁻⁷¹. S molekulárními modely k demonstraci S_N2 reakcí ve vyučovací proces se seznámíme v práci Newmana⁷² nebo Garnetta a Griffina⁷³ nebo didakticky využitelný článek Putalův⁷⁴. Jako jedinečnou a vřele doporučenou didaktickou pomůckou při inovaci výuky organické chemie jsou stereoskopické diagramy a obrázky pro ilustraci molekulových struktur s trojrozměrnou strukturní formulací organických látek a elektronových orbitalů. S použitím počítačových programů ORTEP (odtud ORTEP obrázky) zhotovují i stereopáry trojrozměrných modelů organických struktur po předchozí optimalizaci struktury. S těmito stereobrázky se můžeme setkat v některých zahraničních učebnicích organické chemie, v základních jen sporadicky, v našich učebnicích chybí zcela. Důvodem je, pravděpodobně (doufám), možnost využívání počítačů a sestavení si podobných obrázků každý sám o jakékoliv struktuře podle aktuálního učebního programu. Oživení vyučovacího procesu je možné dosáhnout i překryvovou projekcí pomocí diapozitivů nebo transparentních fólií (slidů) jak popisují Harp a Snyder⁷⁵ například na znázornění průběhu nukleofilních substitucí.

Nelze opět zapomenout na přešel snadno dostupných informací na Internetu, včetně modelových příkladů i ve formě animací.

10. Prolog

Při zpracování speciální části jsem vycházel jednak ze stávajících osnov s předpokladem, že učitel si může předmět své výuky do jisté míry upravit a dále z moderních informací získaných ze zahraničních učebnic organické chemie a časopiseckých prací.

Je možné konstatovat, že prostorovou představivost můžeme u žáků pěstovat během celého výkladu studia organické, bioorganické chemie i biochemie.

Do tématického celku zabývajícím se studiem nasycených uhlovodíků – alkyňů a cykloalkanů můžeme zařadit stereochemické představy o konformaci molekul alkanů a cykloalkanů s uplatněním všech dostupných typů trojrozměrných modelů včetně využití počítače. Mělo by se stát samozřejmostí, že žákům poskytneme molekulové stavebnice a přiměřené počítačové programy s jejichž pomocí si příslušné modely struktur sami sestaví. Potom podle nich nakreslí příslušné vzorce v prostorovém uspořádání a v Newmanově projekci, a zároveň vyznačí čtyři základní konformace podle dihedrálního úhlu. Pomocí kuličkových modelů si žáci sestaví základní cykloalkany. Poznají jak je obtížné sestavit cyklopropan a u vyšších mohou sledovat jednotlivé konformace a pnutí v kruzích. Sestaví si příslušné geometrické izomery na modelech cyklopropanu, cyklobutanu a cyklopentanu a pokusí se o jejich zobrazení v rovině papíru. Podle modelů vaničkové a židličkové konformace cyklohexanu, kde dvěma různými barevnými kuličkami vyznačí ekvatoriální a axiální valence, nakreslí strukturní vzorce obou konformerů cyklohexanu a vyznačí na nich co nejdříveji axiální a ekvatoriální valence a s vyznačením dvou substituentů na modelech zakreslí

všechny možné *cis*- a *trans*-izomery. Toto by byl návrh velice vhodného cvičení pro osvojení prostorové představivosti ve výuce organické chemie. Podobné cvičení na molekulách dekalonu prezentoval Grant, bylo ovšem rozšířeno i o existenci optické aktivity tohoto derivátu.

V tématickém celku o uhlovodících s násobnými vazbami, především v látce o alkenech a alkadienech je začleněna geometrická izomerie u sloučenin s dvojnou vazbou, existence *cis*- a *trans*-izomerů při dvou substituentech a již nutné začlenění *E*-, *Z*- izomerie u tri- a tetrasubstituovaných alkenů. U alkadienů je možné rozvinout existenci *s-cis*- a *s-trans*-izomerie například na modelu but-1,3-dienu. Je tam zařazen i mechanismus elektrofilní (případně radikálové) substituce na neaktivovanou násobnou vazbu na které lze prezentovat její stereochemický průběh například s využitím počítačů. Mohlo by provést cvičení s určováním *E*- a *Z*-izomerů a modelováním stereospecificity u jmenované substituce elektrofilní a radikálové na modelu ethanu se zdůrazněním sterických zábran. Nesmíme zapomenout také na aromatické sloučeniny. Při vysvětlování aromaticity je možné prezentovat modely, které ji dokládají, včetně modelů orbitalových potvrzujících existenci elektronových oblaků pod a nad rovinou planárních σ -vazeb. K tématu se můžeme vrátit ještě u heterocyklických sloučenin.

Dále by se snad už hodilo zařazení informací o optické aktivitě. Záleží na každém učiteli, kdy vystihne vhodný okamžik, kam fenomén chiraloty vložit. V některých učebnicích bývá vložena látka o optické aktivitě jako zvláštní kapitola. Někde je probírána u alkyl- a arylhalogenidů, jindy až u alkoholů. Není výjimkou, že se s ní žáci seznámí až v chemii bioorganické, což je dle mého názoru už pozdě. V kapitolách o optické aktivitě by se žáci měli seznámit především s těmito pojmy a měli by jim být podány přístupnou formou s maximálním využitím modelů struktur a počítačových simulací. Základní pojmy: symetrie, asymetrie, dissymetrie, stereogenní centrum případně stereogenní jednotka, vznik enantiomerů, diastereomerů, dále stanovení absolutní konfigurace pomocí *R*- a *S*-systému podle CIP. Zatím je nezbytné aby poznali i stanovení absolutní konfigurace na základě *D*- a *L*-glyceraldehydu a *L*-serinu a aby jim byly vysvětleny termíny *D*-, *L*-, *threo*- a *erythro*- u opticky aktivních látek – snad jako zmínka v chemii cukrů a bílkovin.

S dynamickou stereochemií se žáci seznámí při probírání základních reakčních mechanismů. V kapitole halogenderiváty, opět s maximálním využitím modelů nebo multimédií, bude vysvětlen sterický průběh substituce nukleofilní monomolekulární versus substituce nukleofilní bimolekulární a samozřejmě jejich srovnání s konkurenčními eliminacemi mono- a bimolekulárními, tedy zkráceně S_N1 vs. S_N2 vs. vs. $E1$ vs. $E2$. U opticky aktivních látek rozšířené o Waldenův zvrát a inverze průběhu reakce. U alkoholů se k substitucím může učitel vrátit a prezentovat je na opticky aktivních alkoholech. Sterický průběh nukleofilní adice na karbonylové funkce by jistě také zasloužil podrobnou 3-D prezentaci.

V kapitolách o karboxylových kyselinách je vhodná situace pro zopakování základních informací o opticky aktivních látkách a jejich rozšíření o příčinách vzniku inaktivní *meso*-formy u kyseliny vinné, například. Ověření existence enantiomerů, diastereomerů a *meso*-formy mohou studenti provádět například na modelech kyseliny mléčné, jablečné a vinné v rámci samostatné práce.

Ve třetím ročníku, v rámci studia přírodních látek (jinak řečeno v bioorganické chemii), budou poznatky o prostorovém uspořádání organických molekul neboli stereochemie zúročeny v širších souvislostech s přihlédnutím ke stavbě a fyziologii organismů. U struktury isoprenoidů (terpeny a steroidy), kde poznatky o konformacích cyklohexanu budou uplatněny ve stereochemii alicyklických složitějších sloučenin, u bicyklických a polycyklických látek, ale také u přírodních barviv typu karotenoidů a porfyrinů.

Tématický celek týkající se sacharidů poslouží k zopakování poznatků o optické izomerii, bude probrána absolutní konfigurace aldohexosy a ketohexosy, s vyznačením konfigurace a D- a L- podle D- a L-glyceraldehydu. Bude vysvětlen přepis vzorců z Fischerovy projekce do projekce v cyklickou strukturu sacharidů a tato struktura bude srovnána se strukturou cyklohexanu. V následujícím tématu o bílkovinách bude pojednáno o prostorové struktuře aminokyselin a jejich uspořádání až v biopolymer s důrazem na biologické vlastnosti a o výsadním zastoupení L-formy α -aminokyselin v bílkovinách. Zapomenuto nebude ani na prostorové uspořádání (konformace) nukleových kyselin. Především počítačová technika dovolí žákům nahlédnout až do nitra těchto životně důležitých sloučenin.

Prostorovou představivost v oblasti biologicky aktivních látek můžeme rozvíjet i ve spolupráci s biologem, kterému například poskytneme potřebné modely. Nebo naopak, využijeme trojrozměrných modelů biologických kabinetů, jelikož podle mých zkušeností jsou takovými modely na některých školách zásobeny lépe než kabinety chemické.