

Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta
Katedra chemie a didaktiky chemie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Schopnost studentů učitelství chemie na začátku svého studia vyčíslovat
chemické rovnice: úspěšnost, postup a vliv využití appletu

Freshman chemistry student teachers' ability to balance chemical equations:
performance, procedure and the effect of applet use

Bc. Lucie Hamerská

Vedoucí práce: doc. PhDr. Martin Rusek, Ph.D.

Studijní program: Učitelství chemie pro 2. stupeň základní školy a střední školy

Studijní obor: Chemie — Biologie

Odevzdáním této diplomové práce na téma *Schopnost studentů učitelství chemie na začátku svého studia vyčíslvat chemické rovnice: úspěšnost, postup a vliv využití appletu* potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Praha, 10.7.2023

Bc. Lucie Hamerská

Především bych ráda poděkovala vedoucímu práce, doc. PhDr. Martinu Ruskovi, Ph.D., za jeho pomoc a ochotu při realizaci výzkumu, tak i při psaní samotné práce. Zároveň patří poděkování i všem respondentům, kteří se výzkumu zúčastnili.

ABSTRAKT

Výzkum v rámci této diplomové práce mapoval schopnost studentů vyčíslovat chemické rovnice. Byly sledovány tři hlavní aspekty: úspěšnost ve vyčíslování rovnic, postupy a využití prostředí appletu. Výzkumný vzorek tvořilo 11 studentů učitelství chemie v prvním ročníku. K analýze postupů studentů byl využit eye-tracking doplněný o retrospektivní think-aloud a rozhovory. Tato práce navazuje na předchozí bakalářskou práci autorky a využívá zjištění z vyhodnocení pretestů, které se zabývaly základními chemickými koncepty v oblasti částicového složení hmoty a schopností pracovat s chemickými reprezentacemi s důrazem na chemické rovnice. Výsledky výzkumu poukazují na rozdíl mezi konceptuálním porozuměním tématu chemických rovnic a algoritmickou schopností vyčíslovat chemické rovnice. Pouze u pěti studentů z 11 byly výsledky v jednotlivých částech výzkumu vyrovnané. Úspěšnost více než poloviny studentů byla nižší, než jaká je očekávána na druhém stupni sekundárního vzdělávání. Analýzou postupů byly zjištěny problémy studentů při vyčíslování, které mohly mít vliv na jejich úspěšnost – základní matematické dovednosti, vynechání závěrečné kontroly, nutnost využít vyšší hodnoty stechiometrických koeficientů. Applet, který byl zvolen jako výzkumný nástroj, znázorňoval poměr atomů pomocí reprezentací symbolické a sub-mikro úrovně. Studenti při vyčíslování rovnic zohledňovali téměř vždy pouze symbolickou úroveň. Tento poznatek umožňuje vytvoření představy o podobě výuky vyčíslování rovnic na sekundárním stupni vzdělávání. Výzkumná zjištění umožňují formulovat implikace pro výuku tohoto tématu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Eye tracking, simulace, vyčíslování chemických rovnic, výuka chemie

ABSTRACT

The research undertaken for this master thesis mapped the students' ability to evaluate chemical equations. Three main aspects were investigated: success in balancing equations, procedures and the use of the applet environment. The research sample consisted of 11 freshmen chemistry student teachers. Eye-tracking in combination with retrospective think-alouds and interviews were used to analyze the students' procedures. This thesis builds on the author's previous bachelor thesis and uses findings from the evaluation of pre-tests that addressed basic chemistry concepts in the area of particulate nature of matter and the ability to work with chemical representations with a special focus on chemical equations. The results of the research highlight the gap between conceptual understanding of the topic of chemical equations and algorithmic ability to balance chemical equations. Only five students out of 11 achieved the same results in the individual parts of the research. The achievement of more than half of the students was below what is expected at the upper secondary level. Analysis of the procedures identified problems in the students' equation balancing that may have affected their success - basic mathematical skills, omitting the final check, having to use higher values of stoichiometric coefficients. The applet that was chosen as the research tool represented the atomic ratio using symbolic and submicroscopic level of representations. Students almost always only considered the symbolic level. This observation allows us to form an idea of the way of teaching equation balancing at the secondary level. Overall, the research findings allow the formulation of implications for the instruction of this topic.

KEY WORDS

Balancing chemical equations, eye tracking, simulation, chemistry instruction

Obsah

Úvod.....	8
1 Teoretická východiska.....	9
1.1 Chemické reprezentace.....	9
1.2 Chemické rovnice.....	15
1.2.1 Chemické rovnice a kurikulum v ČR.....	16
1.3 Didaktické prostředky ve výuce.....	22
1.3.1 Zařazení digitálních technologií do výuky.....	24
1.3.2 Simulace a jejich využití ve výuce.....	25
1.4 Eye-tracking.....	27
1.4.1 Lidské oko a charakteristika jeho základních pohybů.....	27
1.4.2 Vývoj eye-trackingu.....	28
1.4.3 Analýza eye-trackingových dat.....	29
2 Cíl práce a výzkumné otázky.....	32
3 Metodologie.....	33
3.1 Použité výzkumné metody a jejich zdůvodnění.....	33
3.2 Výzkumné nástroje.....	34
3.2.1 Písemný pretest.....	34
3.2.2 Pretest k eye-trackingu.....	36
3.2.3 Applet vyčíslování rovnic.....	37
3.3 Výběr vzorku respondentů.....	39
3.4 Sběr dat, specifikace využitého zařízení a podmínek měření.....	40
3.5 Analýza dat.....	42
4 Výsledky a diskuze.....	43
4.1 Pretesty.....	43
4.1.1 Písemný pretest.....	43
4.1.2 Eye-trackingový pretest.....	43
4.2 Úspěšnost ve vyčíslování chemických rovnic.....	45

4.3	Porovnání celkové úspěšnosti ve vyčíslování s úspěšností v pretestech	47
4.4	Doba řešení chemických rovnic	50
4.5	Počet sakád při vyčíslování chemických rovnic	54
4.6	Konkrétní typy rovnic – čas a úspěšnost jejich vyčíslování	57
4.7	Analýza postupů vyčíslování chemických rovnic	59
4.7.1	Studentka 1	59
4.7.2	Studentka 2	61
4.7.3	Student 3	62
4.7.4	Studentka 4	63
4.7.5	Studentka 5	66
4.7.6	Studentka 6	68
4.7.7	Studentka 7	69
4.7.8	Student 8	71
4.7.9	Studentka 9	72
4.7.10	Studentka 10	74
4.7.11	Studentka 11	75
4.8	Využití appletu – pomocné nástroje, sub-mikro opora	77
4.9	Předchozí výuka tématu chemických rovnic a jejich vyčíslování	85
4.10	Souhrn výsledků	87
5	Implikace do výuky	92
6	Závěr	94
	Použitá literatura	96
	Přílohy	106

Úvod

Chemie je považována za obtížný a neoblíbený předmět (Höfer & Svoboda, 2005; Rusek, 2013; Škoda, 2003). Výzkumy se snaží hledat příčinu tohoto pojetí a identifikovat témata, která činí žákům a studentům největší problémy (např. Childs & Sheehan, 2009; Johnstone, 1971; Moyo, 2018; Rychtera a kol., 2020). Mezi těmito tématy je zmiňováno i téma chemických rovnic a jejich vyčíslování.

Gorman (1981, s. 93, volně přeloženo z originálu) popisuje zkušenosti s výukou tohoto tématu následovně:

„Stále znovu a znovu poslouchám dospělé, kteří se nevěnují chemii, jak vyjadřují svůj odpor ke středoškolské a/nebo vysokoškolské chemii, a ústředním bodem jejich rozhořčení je velké množství času věnovaného vyčíslování chemických rovnic. Při kontaktu s čerstvě absolvovanými středoškoláky se setkávám s podobným názorem.“

Objevuje se tedy kontrast mezi tím, že žáci ve výuce tráví největší množství času tématem, které je nebaví, a přitom s ním stále mají obtíže. Pokud je k výuce chemie přistupováno tímto způsobem, není divu, že se chemie řadí k neoblíbeným předmětům a zájem o chemické vzdělávání upadá (Čtrnáctová & Zajíček, 2010). Je nezbytné začít tyto aspekty reflektovat v přístupu k výuce chemie.

Příspěvek k problematice výuky chemických rovnic může i tento výzkum, který mapoval schopnosti a porozumění studentů v této oblasti. Diplomová práce navazuje na předchozí bakalářskou práci autorky (Hamerská, 2023). Výzkumná zjištění jsou podnětem pro formulaci opatření k výuce chemických rovnic.

Diplomová práce v teoretické části představuje jednu z hlavních myšlenek chemického vzdělávání, což jsou trojí chemické reprezentace. Dále se zaměřuje na téma chemických rovnic, a to jak z pohledu právě chemických reprezentací, tak i na jejich pojetí v chemickém kurikulu včetně učebnic. Zařazena je i kapitola týkající se didaktických prostředků s bližším zaměřením na digitální technologie. Stručně je popsána z teoretického pohledu i metoda eye-trackingu, která byla ve výzkumu využita. Dále jsou v práci nastíněny cíle výzkumu a popis metodologie. Výsledky společně s diskuzí jsou představeny a členěny dle jednotlivých aspektů. V závěru práce jsou navrženy implikace pro výuku.

1 Teoretická východiska

1.1 Chemické reprezentace

Jedním z ústředních paradigmat chemického vzdělávání se stala myšlenka A. H. Johnstona (1982), že veškeré chemické porozumění světu kolem nás lze vyjádřit na třech různých úrovních. Na první úrovni jsou jevy zkoumány, pozorovány a popisovány. Další úroveň je reprezentativní a slouží ke sdělování pojmů a představ. Třetí úroveň vysvětluje chemické jevy a koncepty (Johnstone, 1982).

Označení těchto úrovní v literatuře se sice liší podle různých autorů (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011), nicméně vždy se jedná o popis reálného stavu, mikroskopickou nebo submikroskopickou úroveň a úroveň symbolů. V této práci bude, jako nejčastější, využita terminologie Johnstona (1991) využívající označení úrovně reprezentací: makro, sub-mikro a symbolická.

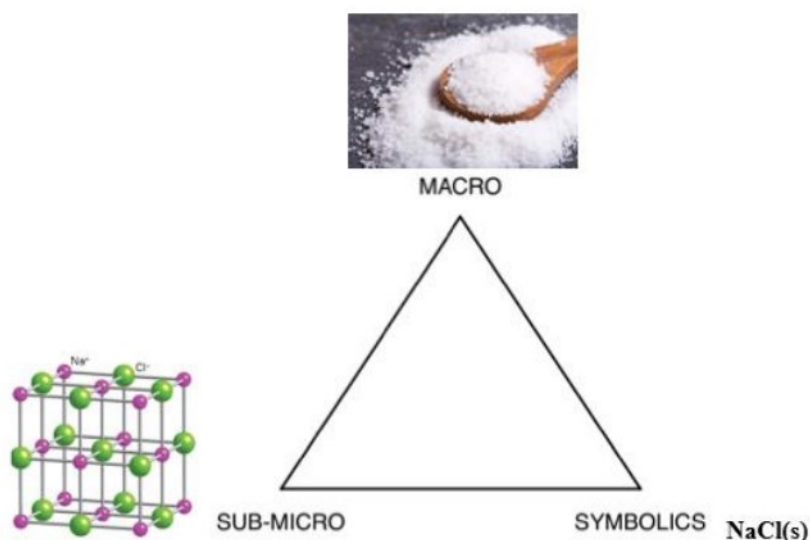
Většina věcí, se kterými se setkáváme v běžném životě a na základě kterých si vytváříme představy, je makro povahy. Úroveň *makro* zahrnuje to, co je možné vnímat smysly, tedy viditelné a hmatatelné (Johnstone, 1991). Chemie na úrovni makro se odehrává jak v běžném životě, tak samozřejmě v laboratoři (Johnstone, 1991, 2000). Dle Gilberta a Treagusta (2009) se jedná o vlastnosti látek, které je možné měřit nebo pozorovat. Jako příklad uvádí skupenství, hustota, hmotnost, teplota, pH a další.

Vysvětlení chemických jevů se odehrává na *sub-mikro* úrovni (Gabel, 1993; Gilbert & Treagust, 2009; Johnstone, 1982; 2000). Tato úroveň je založená na částicovém pojetí hmoty. Tyto sub-mikro částice, jako jsou elektrony, molekuly, atomy, ionty atd., jsou sice reálné, ale jsou příliš malé na to, aby je bylo možné pozorovat (Treagust a kol., 2003). Proto jsou využívány různé 2D nebo 3D modely, které zprostředkují sub-mikro představy. Mohou to být obrázky, počítačové animace nebo hmatatelné modely (Gkitzia a kol., 2011). Přístupnost sub-mikro světa souvisí se schopností prostorové představivosti a vizualizace (Bucat & Mocerino, 2009).

K popisu chemických jevů na makro i sub-mikro úrovni se využívá *symbolická* úroveň (Johnstone, 1982; Treagust a kol., 2003), tedy písmena, čísla, symboly a další znaky. Chemici vlastně používají svůj vlastní „jazyk“ zápisu se zvláštními pravidly (Sliwka, 2003), který je vyjádřen prostřednictvím symbolů, písmen, čísel nebo dalších specifických znaků. Mezi reprezentace na symbolické úrovni lze zařadit např. značky prvků, chemické vzorce, chemické rovnice, reakční mechanismy, ale dále i matematické operace nebo grafy (Johnstone, 1982;

Johnstone, 2000). Symbolické reprezentace jsou označovány za nejvíce abstraktní z těchto tří (Lin a kol., 2016).

Podstata oboru chemie spočívá na těchto třech, výše popsaných, formách reprezentací. Johnstone (2000) popsal vztah mezi reprezentacemi pomocí rovnostranného trojúhelníku, kde jeho vrcholy představují jednotlivý typ reprezentace. Všechny tři úrovně reprezentací jsou si tedy rovnocenné, vzájemně se doplňují (Johnstone, 2000) a jsou nedílnou součástí porozumění chemickým konceptům (Treagust a kol., 2003). V literatuře je tato Johnstonova představa označována jako chemický triplet nebo chemický trojúhelník reprezentací (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011). Tento model je zobrazen na Obrázku 1 na příkladu zobrazení chloridu sodného na všech úrovních reprezentací.



Obrázek 1 Model Johnstonova trojúhelníku reprezentací na příkladu zobrazení chloridu sodného, zdroj: (Childs, 2020)

Johnstone (1991) označuje tuto podstatu chemie jako vědy, uvažovat na více úrovních, za příčinu obtížnosti učít se chemii. Jedná se tedy o problematiku, které je potřeba věnovat více pozornosti v chemickém vzdělávání.

Učitelé chemie používají běžně ve výuce všechny tři typy reprezentací současně a často mylně předpokládají, že žáci dokážou přecházet z jedné reprezentace na druhou (Johnstone, 1991). Toto tvrzení potvrzují Kozma a Russell (1997), kteří na základě výzkumu vnímání různých chemických reprezentací experty a začátečníky uvádí, že zatímco experti dokážou využívat všechny typy reprezentací a přecházet mezi nimi, začátečníci používají pouze jednu formu reprezentace. Příčinu lze spatřovat v tom, že jsou souvislosti mezi jednotlivými typy

reprezentací nedostatečně vysvětlovány. Žáci, tedy začátečníci, je pak chápou izolovaně a nedokážou mezi nimi přecházet (Gabel, 1999).

Kozma a Russell (1997) zavádí termín „reprezentační kompetence“ (*representational competence*) a zdůrazňují potřebu jejího zahrnutí do výuky, kdy je získávána nejen schopnost mezi reprezentacemi přecházet a převádět jeden typ zobrazení do jiného, ale také pochopení funkcí, předností a odlišností jednotlivých typů reprezentací (Kozma & Russell, 1997).

Johnstone (1982; 1991) nepovažuje za vhodné začít se zapojením všech tří úrovní reprezentací najednou i vzhledem k tomu, že by došlo k zahlcení pracovní paměti žáků. Chittleborough (2014) uvádí, že porozumění souvislostem mezi reprezentacemi není vždy dostačující, proto může docházet ke vzniku miskonceptů. Oba (Chittleborough, 2014; Johnstone, 1991) zdůrazňují význam makro reprezentací ve výuce, které jsou nejbližší každodenní zkušenosti žáků. Chittleborough (2014) představuje model výuky zaměřený na posloupnost používání jednotlivých reprezentací ve výuce. Tento návrh je označen jako „model stoupajícího ledovce“ (*rising iceberg*), dle kterého ústřední roli hraje úroveň makro, po které se následně zavádí sub-mikro a symbolická úroveň. U začátečníků je vhodné začít s makro reprezentacemi a s narůstajícími schopnostmi, chemickými znalostmi a věkem žáků je možné zavádět stále více symbolických a sub-mikro reprezentací. Johnstone (1991) dokonce navrhuje založit výuku pouze na makro úrovni reprezentací a vysvětlení pomocí sub-mikro úrovně zavádět pouze na vyžádání žáků.

Lin a kol. (2016) porovnávají vliv dvou typů výuky, první s postupným zaváděním reprezentací podle stupně abstraktnosti a druhá se simultánním zapojením všech tří typů reprezentací. Za nejvíce abstraktní je považována symbolická úroveň. Jako nejméně abstraktní, neboli nejvíce konkrétní, je spatřována reprezentace na úrovni makro. Konkrétnost autoři definují jako podobnost s tím, co reprezentace představuje nebo na co odkazuje. Jejich přístup postupného zavádění reprezentací začínající od makro reprezentace odpovídá i výše zmíněné představě Chittleborough (2014). Zjištění výzkumu (Lin a kol., 2016) ovšem ukazují, že postupné zavádění reprezentací od nejvíce konkrétní po nejvíce abstraktní nemělo v porovnání se simultánním využitím reprezentací vliv. Jiné studie (Fyfe a kol., 2014; Goldstone & Son, 2005) ale naopak zaznamenávají pozitivní přínos při postupu od konkrétního k abstraktnímu. Rozdílné výsledky mohou být způsobené využitím odlišných didaktických prostředků a metod v jednotlivých výzkumných studiích (srov. Goldstone & Son, 2005; Lin a kol., 2016).

Ve výzkumu Lin a kol. (2016) se ukazuje asymetrické porozumění reprezentacím a přechody mezi nimi. Studenti dosahují vyšší úspěšnosti, pokud mají přecházet od konkrétní reprezentace

k abstraktní, než pokud je vyžadován přechod od abstraktní reprezentace ke konkrétní. Asymetrické porozumění není ojedinelé pouze pro chemii, bylo rovněž zaznamenáno i u matematiky (Yerushalmy, 1991). Yerushalmy (1991) ovšem dodává, že příčina může vycházet i z asymetrické výuky, kdy se vyžaduje jeden směr přechodu mezi reprezentacemi častěji než opačný. Výzkumy uvádí, že učitelé ve výuce chemie nejčastěji využívají symbolickou úroveň reprezentací (Chittleborough a kol., 2002). K tomu může přispívat i podoba učebnic. Analýzou jejich vizuální složky bylo zjištěno, že některé typy reprezentací jsou zastoupeny méně často než jiné. Reprezentace na úrovni sub-mikro se v učebnicích chemie téměř nevyskytují (Chen a kol., 2019; Chlumecká, 2021; Krumlová, 2022; Upahi & Ramnarain, 2019). Zastoupení chemických reprezentací také závisí na konkrétním tématu (srov. Chen a kol., 2019; Chlumecká, 2021; Krumlová, 2022). Lze uvažovat, že pro některá témata jsou více vhodné určité typy reprezentací a některé naopak nemají v tématu příliš využití.

Sub-mikro reprezentace představují úroveň reprezentací, na základě kterých je vysvětlena podstata chemických konceptů. Dle Bunce a Gabel (2002) je nutné do výuky sub-mikro složku zahrnout. V jejich výzkumu byly porovnávány dva typy výuky na střední škole. První typ využíval všechny tři úrovně reprezentací. Kontrolní skupina byla vyučována pouze za využití makro a symbolické úrovně. Výuka byla zaměřena na témata: skupenství, chemická vazba a stechiometrie. Vyšší úspěšnost v porozumění těmto konceptům měla výuka se všemi třemi typy reprezentací.

Zavádění sub-mikro reprezentací do výuky ovšem není bez obtíží.

Dle De Jonga a Tabera (2014) žáci často nevnímají, že by atomy a molekuly tvořily hmotu, ale považují je pouze za její součást. Stejně jako, že rozinky jsou pouze součástí dortu, ale není z nich složený. Díky tomuto miskonceptu nelze předpokládat, že by žáci dokázali přisuzovat vysvětlení chemických konceptů tomu, co se děje na sub-mikro úrovni. Například považují vlastnosti pozorované na makro úrovni (např. zbarvení látky) jako vlastnosti jednotlivých částic (De Jong & Taber, 2014).

Operace na sub-mikro úrovni vyžadují určitou míru představivosti a schopnosti vizualizace (Bucat & Mocerino, 2009). Úroveň těchto dovedností souvisí s pohlavím a věkem (Devetak & Glažar, 2010). Existují data, že muži mají vyšší schopnost představivosti než ženy (Halpern, 2013; Sanders a kol., 1982; Weiss a kol., 2003). To by představovalo vysvětlení, proč dle některých výzkumů (Devetak & Glažar, 2010) dokážou chlapci lépe pracovat se sub-mikro reprezentacemi než dívky. Výsledky jiných studií (Goldstein a kol., 1990) tvrzení ohledně rozdílné schopnosti představivosti v závislosti na pohlaví vyvracejí a uvádí, že vliv

mají okolnosti testování. Jakmile bylo zrušeno časové omezení testu, nebyly pozorovány žádné signifikantní rozdíly mezi výsledky mužů a žen (Goldstein a kol., 1990). Dle Friedmana (1995) nejsou ženy tak zdatné ve vytváření vlastní vizuální opory jako muži, ale pokud mají tyto vizuálie dostupné, jejich úspěšnost se zvýší mnohem více než u mužů (Devetak & Glažar, 2010; Johnson, 1984). Je možné usuzovat, že pro ženy má opora v podobě vizuálií mnohem větší význam než u mužů.

Dalším zmíněným faktorem je věk, nebo spíše úroveň mentálních operací. Piaget (1999) rozdělil kognitivní vývoj do čtyř etap: myšlení symbolické a předpojmové (do 4 let); myšlení názorné (od 4 do 7-8 let); konkrétní operace (od 7-8 let do 11-12 let); formální operace (od 11-12 let). Abstraktního myšlení se dle jeho teorie (Piaget, 1999) formuje až v rámci posledního stádia kognitivního vývoje. Věkově toto stádium odpovídá žákům na počátku druhého stupně základní školy nebo na začátku nižšího stupně víceletých gymnázií, kde se běžně s výukou chemie začíná až v předposledních dvou letech (Čtrnáctová & Zajíček, 2010). Dosažení stádia formálních operací je podstatné pro učení se chemii, neboť se schopností formálního uvažování souvisí porozumění chemickým konceptům (Thiele & Treagust, 1994). Byla prokázána souvislost mezi dosažením stádia formálního myšlení a porozuměním chemii na sub-mikro úrovni (Devetak & Glažar, 2010; Haidar & Abraham, 1991). Ukazuje se ale, že většina žáků ve věku odpovídajícím druhému stupni základní školy se nenachází na úrovni formálních operací (Dale, 1970; Valanides, 1996). Neznamena to, že by žáci na úrovni konkrétních operací nebyli dostatečně schopni řešit určité úlohy na sub-mikro úrovni, ale mají s nimi větší potíže než žáci ve stádiu formálního uvažování (Devetak & Glažar, 2010).

Pro vysvětlení chemických konceptů ve výuce je vyžadováno současné používání reprezentací na sub-mikro a symbolické úrovni, jak uvádí Treagust a kol. (2003). Pro odborníky a učitele jsou symbolické reprezentace propojeny s jejich znalostmi a porozuměním konceptů v chemii a usnadňují jim zprostředkování těchto konceptů. Symbolické reprezentace mohou ovšem představovat obtíže pro žáky, kteří teprve začínají s chemií a učení se významu symbolického jazyka (Taber, 2009). Pro žáky je rovněž obtížné vztáhnout do souvislosti symbolické výrazy s částicovým složením hmoty, tedy se sub-mikro úrovní (De Jong & Taber, 2014). Bylo prokázáno, že se vyskytují potíže s porozuměním symbolů například v rámci tématu chemické rovnováhy (Marais & Jordaan, 2000) nebo chemických rovnic (Taber, 2009; Taskin & Bernholt, 2014). Problematika chemických rovnic na symbolické úrovni a potíže s tím související budou vzhledem k zaměření práce podrobněji zmíněny dále.

Makro reprezentace by měly být nejvíce uchopitelné a nejvíce konkrétní (Johnstone, 1991; Lin a kol., 2016). Přesto není možné předpokládat, že by interpretace na makro úrovni byly vždy správné (Rahayu & Kita, 2010). Příčina může spočívat v nedostatku příležitostí získat zkušenosti s makro úrovní (Gilbert & Treagust, 2009). Žáci se mohou setkat s konkrétními příklady látek, jejich vlastnostmi a reakcemi prostřednictvím praktických činností (Tsaparlis, 2009). Ne všechna praktická činnost se dá ale považovat za vhodnou pro zapojení žáků do přemýšlení (Hofstein & Lunetta, 2004). Dalším problémem v souvislosti s praktickou činností může být, že žákům není dostatečně jasné, na co mají směřovat svou pozornost a co se z dané činnosti mají naučit (Hodson, 1990). V souvislosti s makro úrovní představuje žákům obtíže mimo jiné přítomnost „neviditelných“ plynných látek (Al-Kunifed, 1993; De Jong & Taber, 2014; Hesse & Anderson, 1992). Žáci si neuvědomují, že i tyto nepozorovatelné látky interagují s okolními látkami, a tak mohou ku příkladu předpokládat, že je hmotnost zrezivělého kusu kovu stejná jako před rezavěním (De Jong & Taber, 2014). Přestože žáci dokáží popisovat pozorovatelné a úroveň makro tvoří základ pro vytváření jejich představ ohledně chemických konceptů (Al-Kunifed, 1993), bez spojitosti s vysvětlením na sub-mikro úrovni může docházet k nesprávnému porozumění (Hesse & Anderson, 1992). Jako příklad lze uvést neschopnost vysvětlit chemickou změnu a její zaměňování s fyzikální změnou (De Jong & Taber, 2014; Hesse & Anderson, 1992).

Učitelé by měly být obeznámeni s výše zmíněnými problematickými aspekty chemického tripletu reprezentací a měli by je brát na vědomí ve své výuce, aby byly tyto obtíže u žáků eliminovány. Jako vhodný způsob se jeví zprostředkování chemických reprezentací prostřednictvím vizuálních pomůcek (např. Wu a kol., 2001).

1.2 Chemické rovnice

Chemické rovnice představují významnou součást konceptu chemické reakce, jelikož se jedná o jejich symbolický zápis. Jak již bylo výše zmíněno, pro porozumění konceptu chemické reakce je nezbytné porozumění na všech třech úrovních chemických reprezentací. Makro, sub-mikro a symbolické reprezentace jsou vhodné pro různé aspekty chemických reakcí (Hinton & Nakhleh, 1999).

Chemické reakce z pohledu makro úrovně představují vlastnosti a změny látek, které je možné pozorovat. Jedná se o informace ohledně zbarvení látek, změny skupenství, rozpustnost, srážení látek a další pozorovatelné jevy (Chandrasegaran a kol., 2007). Část z těchto pozorovatelných vlastností je totožná jak pro chemickou, tak i pro fyzikální změnu – například změna skupenství. Není jednoduché rozlišit fyzikální a chemickou změnu na základě vnějších charakteristik. Jejich rozlišení je zřejmé až po zavedení konceptu atom a porozumění konceptu na sub-mikro úrovni (Ahtee & Varjola, 1998).

Na úrovni sub-mikro se jedná o interakce mezi atomy odehrávající se během reakce (Hinton & Nakhleh, 1999) a lze pomocí této úroveň rovněž vyjádřit stechiometrii reakce (Çelikkiran, 2020). Pro správné pochopení konceptu chemické reakce je nutná představa reorganizace atomů na sub-mikro úrovni díky zániku starých a vzniku nových vazeb (Ahtee & Varjola, 1998).

Znázornění chemické reakce pomocí symbolů a vzorců představuje chemická rovnice, která propojuje a podává informace z makro a sub-mikro světa (Hinton & Nakhleh, 1999). V chemické rovnici se vyskytuje celá řada symbolů: např. značky prvků, oxidační čísla, symboly skupenství a mnoho dalších. Symbolické úrovni chemických rovnic, jejímu významu a uplatňovaným pravidlům v zápisu se věnoval Taber (2009).

Pro žáky a studenty představuje každá z reprezentací jinou úroveň obtížnosti. Většina žáků a studentů dokáže interpretovat chemickou reakci pomocí reprezentací na makro úrovni (Hinton & Nakhleh, 1999; Jaber & BouJaoude, 2012). Naopak zobrazení reakce pomocí sub-mikro částic se jeví jako jejich slabina (Kelly a kol., 2010; Kern a kol., 2010; Yarroch, 1985). Ukazuje se ale i, že žáci a studenti mají špatné představy o významu symbolů vystupujících v chemických rovnicích (Al-Kunifed, 1993; Marais & Jordaan, 2000; Yarroch, 1985), což rovněž znesnadňuje porozumění daného konceptu.

Ve výuce se mohou uplatňovat demonstrace chemických reakcí pro přiblížení konceptu žákům. Ukázalo se, že zapojení demonstrací do výuky sice napomohlo porozumění na makro úrovni, ale neovlivnilo schopnost interpretovat reakci na sub-mikro úrovni, ani schopnost zapsat reakci

chemickou rovnicí (Trivić & Milanović, 2018). Pro představení reprezentací nejen na úrovni makro lze využít vizuální pomůcky, které podporují vysvětlování konceptů a porozumění jim (Norris & Phillips, 2003).

Samostatným tématem výuky chemických reakcí je vyčíslování chemických rovnic. Učitelé se totiž ve výuce věnují převážně matematickému přístupu k vyčíslování rovnic, než aby se zabývali tím, co chemická rovnice představuje (Yarroch, 1985). Carpenter a kol. (2016) uvádějí, že je toto téma vyučováno nejčastěji pomocí drilu a procvičování. Žáci často přistupují k vyčíslování rovnic tak, že se je učí nazpaměť (Chandrasegaran a kol., 2007). Otázkou je, proč se učitelé ve výuce věnují právě schopnosti vyčíslovat rovnice namísto konceptuálnímu porozumění chemické reakci.

Za tímto účelem je nutné mít představu ohledně vymezení tématu chemických reakcí a konkrétněji chemických rovnic v kurikulárních dokumentech, které představují zamýšlené kurikulum pro výuku chemie (Thijs & Van Den Akker, 2009).

1.2.1 Chemické rovnice a kurikulum v ČR

Kurikulum chemie je v ČR dáno vzdělávacími programy. Tyto dokumenty se dělí do dvou úrovní: státní a školní. Státní úroveň představují rámcové vzdělávací programy (RVP), podle kterých si školy sestavují vlastní školní vzdělávací programy (ŠVP). Vzhledem k tomu, že ŠVP jsou v rukou samotných škol, práce se bude věnovat programům na státní úrovni, které musí být respektovány v podobě ŠVP.

Rámcové vzdělávací programy stanovují vzdělávací obsah a cíle pro jednotlivé typy vzdělávání. Cíle pro vzdělávací obor chemie, které tvoří očekávané výstupy a učivo, jsou součástí RVP pro základní vzdělávání, pro gymnázia a pro střední odborné vzdělávání (pouze v RVP SOV oborů M, L0 a H¹). Konkrétní znění těchto cílů vztahující se k tématu chemických reakcí a chemických rovnic bylo uvedeno v předchozí práci autorky (viz Hamerská, 2023). V této práci bude pouze stručně zmíněno, co z očekávaných výstupů a učiva vyplývá pro výuku chemie v oblasti tohoto tématu. Navíc zde bude zahrnuta analýza učebnic chemie, které mají na podobu výuky velký vliv (Vojíš & Rusek, 2021, 2022) a realizované kurikulum (Thijs & Van Den Akker, 2009) je formováno především na základě nich.

Dle RVP ZV (2021) patří chemické rovnice do chemického vzdělávání na základní škole a nižším stupni gymnázií. Žák má porozumět základním konceptům jako výchozí látky

¹ Obor kategorie M – střední odborné vzdělávání s maturitní zkouškou; obory kategorie L0 – střední vzdělání s maturitní zkouškou a odborným výcvikem; obory kategorie H – střední vzdělání s výučním listem

a produkty, a znát jejich umístění v zápisu chemické reakce. Součástí doporučeného učiva je zákon zachování hmotnosti, který je možné vysvětlit v souvislosti s vyčíslenými chemickými rovnicemi. Není zde ale žádná zmínka o schopnosti vyčíslování chemických rovnic.

V obsahu chemického vzdělávání na gymnáziu je dle RVP G (2007) možné zaznamenat, že se téma chemických rovnic vyskytuje. Implicitně spadá koncept chemických reakcí včetně chemických rovnic do znalosti terminologie popisu látek a vysvětlování chemických dějů, a do chemických výpočtů, kam patří i výpočty z chemických rovnic. Vyčíslování chemických rovnic je předpokládáno pro jejich zvládnutí. Dále je očekáváno věnování se chemickým reakcím v souvislosti s částicovou strukturou látek, termochemií, reakční kinetikou a chemickou rovnováhou. I v těchto oblastech je často vyžadována schopnost porozumění zápisu chemické reakce.

Chemické reakce, rovnice a jejich vyčíslování je součástí obsahu středního odborného vzdělávání zmíněných typů oborů. V RVP SOV (2007) je explicitně uvedeno, že žáci mají být schopni vysvětlit podstatu chemických reakcí, rozumět částicovému složení látek, zapsat chemickou reakci pomocí rovnice, znát symboliku, vyčíslit chemickou rovnici a provádět chemické výpočty (včetně výpočtů z chemických rovnic pro variantu A).

Znění obsahu je v chemickém kurikulu velmi obecné. Je sice patrné, že koncept chemických reakcí včetně jejich symbolického zápisu je povinný v sekundárním vzdělávání, ve vyšším stupni sekundárního vzdělávání i vyčíslování rovnic, ale chybí bližší specifikace jeho rozsahu. Rozhodnutí ohledně podobě výuky těchto konceptů a jejich rozsahu zůstává na samotných učitelích, kteří se často řídí právě podobou učebnic (Vojíř & Rusek, 2021, 2022). Nabízí se tedy analýza obsahu v učebnicích. Vzhledem k zaměření práce bude přiblížena podoba obsahu konkrétně v souvislosti s chemickými rovnicemi a jejich vyčíslováním.

Průzkum učebnic ohledně zařazení tématu chemické rovnice a jejich vyčíslování

K analýze učebnic pro základní školy a odpovídající stupně nižšího gymnázia byly zvoleny učebnice, které patří mezi čtyři nejvyužívanější řady učebnic dle provedeného výzkumu Vojíře a Ruska (2021). Seznam analyzovaných učebnic včetně informací o nich je uveden v Tabulce 1 níže. Nejedná se o zhodnocení obsahu učebnic, pouze o přiblížení rozsahu a podoby interpretace chemických rovnic a jejich vyčíslování.

Tabulka 1 Přehled analyzovaných učebnic pro nižší stupeň sekundárního vzdělávání

název učebnice	zkratka	autoři	nakladatelství	místo vydání	datum vydání	Vydání
Základy chemie 1 pro 2. stupeň základní školy, nižší ročníky víceletých gymnázií a střední školy	ZCH1	Beneš, P., Pumpr, V., Banýr, J.	Fortuna	Praha	2004	3.
Základy praktické chemie 1: pro 8. ročník základní školy	ZPCH1	Beneš, P., Pumpr, V., Banýr, J.	Fortuna	Praha	2003	2.
Chemie 8: hybridní učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia	FR8	Škoda, J., Doulík, P.	Fraus	Plzeň	2021	2.
Chemie 8: Úvod do obecné a anorganické chemie	NŠ8	Mach, J., Plucková, I., Šibor, J.	Nová škola	Brno	2021	7. aktualizované

Všechny zmíněné učebnice se vyskytují v sadách po dvou dílech, jeden pro osmý a druhý pro devátý ročník. Téma chemické rovnice a jejich vyčíslování bylo ve všech případech zařazeno do prvního z nich. Je možné očekávat, že se výuka uvedeného tématu odehrává běžně právě v osmém ročníku. V učebnicích bylo sledováno, jaký počet stran je věnován tématu chemických rovnic a jejich vyčíslování, na kolika rovnicích je vyčíslování vysvětleno, kolik rovnic je k dispozici k procvičení vyčíslování. Tyto údaje jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 2). Je tak možné porovnat dané údaje mezi jednotlivými učebnicemi. Podle toho je možné usuzovat, jaký důraz je kladen na dané téma v jednotlivých učebnicích.

Tabulka 2 Porovnání analyzovaných učebnic nižšího stupně sekundárního vzdělávání zaměřené na téma chemické rovnice a jejich vyčíslování

	ZCH1	ZPCH1	FR8	NŠ8
celkový počet stran	143	79	133	109
rozsah stran věnovaný tématu chemické rovnice	56, 57,73	41, 42, 46	29	38, 39, 40, 41, 45
název kapitoly - podkapitoly	Chemické prvky - základ přírody - Jak vyjadřujeme změny chemických látek?	V Čem je základ chemie? - V přírodě se nic neztratí; Opakování	Částicové složení látek - Co je to chemická reakce?	Chemické reakce - Co jsou chemické reakce - Chemické rovnice; Opakování
uvedené chemické rovnice k vysvětlení jejich vyčíslování	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$

počet chemických rovníc k procvičování jejich vyčíslování	6	7	2	12
---	---	---	---	----

Z dat uvedených v Tabulce 2 vychází, že tři učebnice ze čtyř kladou důraz na schopnost vyčíslovat chemické rovnice už u žáků na nižším stupni sekundárního vzdělávání. Jediná učebnice, která tuto dovednost po žácích nevyžaduje, je učebnice FR8. V této učebnici bylo pouze vysvětleno na příkladu jedné rovnice, k čemu při chemické reakci dochází, jaká je možnost jejího zápisu a znázornění. V zadání příkladu k procvičování je uvedeno, že se mají žáci pokusit zapsat dvě reakce rovnicí za pomoci vyučujícího. Největší důraz na téma chemických rovnic a jejich vyčíslování je kladen v učebnici NŠ8. Tato učebnice se tomuto tématu věnuje na největším počtu stran a zároveň nabízí i nejvíce příkladů chemických rovnic k procvičování vyčíslování.

Všechny učebnice vysvětlují vyčíslování chemické rovnice pouze na jednom příkladu. Ve všech případech se jedná o rovnici se stejnými reagujícími látkami. Jediný rozdíl je u NŠ8, kde je uvedena rovnice pro rozklad vody. Ve zbylých učebnicích se jedná o syntézu vody. Všechny učebnice vysvětlují vyčíslování dané rovnice v několika krocích pomocí přepočítávání počtu atomů jednotlivých prvků. ZPCH1 a FR8 nabízí znázornění chemické reakce v podobě sub-mikro částic a uvádí počet atomů jednotlivých prvků. NŠ8 ukazuje vyčíslování reakce jak podle číselného počtu atomů, tak i pomocí vah znázorňujících rovněž jejich počet. ZCH1 v jednotlivých krocích uvádí pouze počet atomů jednotlivých prvků a zobrazení reakce na úrovni sub-mikro je uvedeno pouze jako jeden ze způsobů vyjádření reakce, ale není součástí vysvětlení postupu vyčíslování.

Všechny chemické rovnice uvedené v těchto učebnicích se sestávají z maximálně dvou výchozích látek a maximálně dvou produktů.

Ze středoškolských učebnic byly zvoleny tři učebnice, které se řadí k nejpoužívanějším učebnicím. Není možné označit za tři nejpoužívanější, jelikož dle různých výzkumů (srov. Beneš a kol., 2009; Huvarová, 2010; Klečka, 2011) vychází odlišné pořadí oblíbenosti těchto učebnic mezi učiteli k vlastní přípravě i jako doporučená učebnice pro žáky. Jako nejvíce využívaná je dle všech šetření uvedena řada učebnic Nakladatelství Olomouc, *Chemie pro čtyřletá gymnázia* autorů Mareček, A. a Honza, J. (Beneš a kol., 2009; Huvarová, 2010; Klečka, 2011). Přehled zvolených učebnic pro vyšší stupeň sekundárního vzdělávání k analýze je uveden v Tabulce 3.

Tabulka 3 Přehled analyzovaných učebnic pro nižší stupeň sekundárního vzdělávání

název učebnice	zkratka	autoři	nakladatelství	místo vydání	datum vydání	Vydání
Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl	M.-H. 1	Mareček, A., Honza, J.	Nakladatelství Olomouc	Olomouc	2005	3. opravené
Chemie (obecná a anorganická) I pro gymnázia	CH I	Vacík, J. a kol.	SPN	Praha	1995	3. doplněné (1. pod SPN)
Přehled středoškolské chemie	PSCH	Vacík, J. a kol.	SPN	Praha	1999	4., (2. pod SPN)

V těchto učebnicích byly porovnávány totožné údaje jako v učebnicích pro nižší stupeň sekundárního vzdělávání. Porovnání středoškolských učebnic se zaměřením na téma chemických rovnic a jejich vyčíslování je uveden v Tabulce 4. Při srovnání celkového počtu stran je třeba zmínit, že v případě učebnice M.-H. 1 se jedná o první díl ze třídílné řady, učebnice CH I je součástí dvoudílné řady a PSCH je samostatný.

Tabulka 4 Porovnání analyzovaných učebnic pro střední školy na téma chemické rovnice a jejich vyčíslování

	M.-H. 1	CH I	PSCH
celkový počet stran	240	245	365
rozsah stran věnovaný tématu chemické rovnice	58, 59, 60, 61, 62, 63, 64	100, 101, 102, 103	45, 61, 62, 63, 64
název kapitoly - podkapitoly	Chemické reakce - Chemické rovnice - Výpočet stechiometrických koeficientů chemických rovnic pomocí rovnic matematických, Vyrovnání oxidačně redukčních rovnic, Vyrovnání ox. red. rovnic v iontovém tvaru, Otázky a úkoly	Chemické reakce a výpočty z chemických rovnic - Výpočty z chemických rovnic	Obecná chemie - Chemická rovnice; Stechiometrické výpočty - Výpočet stechiometrických koeficientů chemické rovnice

uvedené chemické rovnice k vysvětlení vyčíslování	$2 \text{CaSO}_4 + \text{C} \rightarrow 2 \text{CaO} + 2 \text{SO}_2 + \text{CO}_2,$ $\text{Zn} + \text{S} \rightarrow \text{ZnS},$ $3 \text{Cu} + 8 \text{HNO}_3 \rightarrow 3 \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{NO} + 4 \text{H}_2\text{O},$ $2 \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{FeCl}_3 + 2 \text{H}_2\text{O},$ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6 \text{Br}^- + 14 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{Cr}^{3+} + 3 \text{Br}_2 + 7 \text{H}_2\text{O}$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{KI} \rightarrow \text{PbI}_2 + 2 \text{KNO}_3,$ $2 \text{HCl} + \text{Zn} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2,$ $6 \text{FeCl}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 14 \text{HCl} \rightarrow 6 \text{FeCl}_3 + 2 \text{CrCl}_3 + 2 \text{KCl} + 7 \text{H}_2\text{O}$ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{KI} \rightarrow \text{PbI}_2 + 2 \text{KNO}_3$	$4 \text{Fe} + 11 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 8 \text{SO}_2,$ $3 \text{I}_2 + 10 \text{HNO}_3 \rightarrow 6 \text{HIO}_3 + 10 \text{NO} + 2 \text{H}_2\text{O},$ $3 \text{CuO} + 2 \text{NH}_3 \rightarrow 3 \text{Cu} + \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O},$ $5 \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 + 2 \text{KMnO}_4 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 10 \text{CO}_2 + 2 \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8 \text{H}_2\text{O},$ $6 \text{Br}^- + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14 \text{H}^+ \rightarrow 3 \text{Br}_2 + 2 \text{Cr}^{3+} + 7 \text{H}_2\text{O},$ $\text{Pb} + 4 \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{NO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O},$ $16 \text{HBr} + 2 \text{KMnO}_4 \rightarrow 5 \text{Br}_2 + 2 \text{MnBr}_2 + 2 \text{KBr} + 8 \text{H}_2\text{O}$
počet chemických rovnic k procvičování jejich vyčíslování	16	/	/

Vybrané středoškolské učebnice se věnují tématu chemických rovnic a jejich vyčíslování na čtyřech až sedmi stranách. Postup vyčíslování chemické rovnice je ukázán vždy na několika příkladech. Dvě učebnice z těchto tří neobsahují chemické rovnice k procvičení bez uvedeného postupu řešení. Procvičování je součástí jenom učebnice M.-H. 1. Nejméně se vyčíslování chemických rovnic věnuje CH I. Tomu napovídá počet stran i počet řešených chemických rovnic.

Ve všech uvedených učebnicích jsou chemické rovnice řešené buď pomocí porovnání počtu atomů (označováno jako pomocí matematických rovnic) nebo pomocí poloreakcí srovnáním změn oxidačních čísla. Druhý zmíněný způsob se nevyskytoval v učebnicích nižšího stupně sekundárního vzdělávání. Učebnice M.-H. 1 a PSCH obsahují i chemické rovnice v iontovém stavu. Chemické rovnice obsahují až tři výchozí látky nebo produkty v CH I, ve zbylých dvou učebnicích jsou to až čtyři. Nejvyšší hodnota stechiometrického koeficientu je až 14, respektive u PSCH až 16. V žádné učebnici se na uvedených stránkách nevyskytuje znázornění chemické reakce pomocí sub-mikro částic.

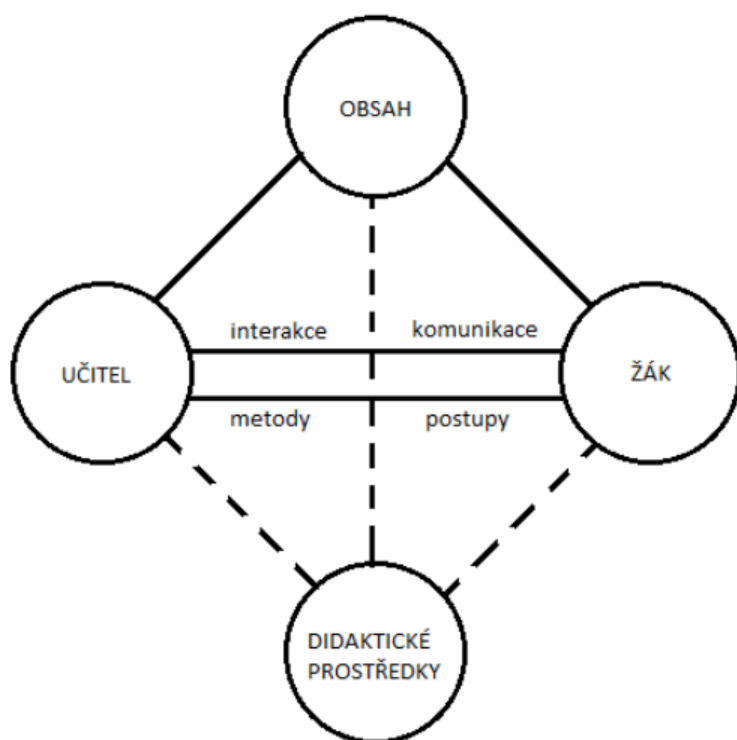
Tento průzkum učebnic pro nižší i vyšší stupeň sekundárního vzdělávání umožňuje vytvořit si představu o typu chemických rovnic, které jsou na jednotlivých stupních řešeny, a jejich složitosti.

1.3 Didaktické prostředky ve výuce

Pro zprostředkování jednotlivých témat ve výuce, jako rovněž tématu chemických rovnic a jejich vyčíslování, slouží didaktické prostředky, které patří mezi čtyři základní komponenty výuky dle Maňáka (2003). Těmi jsou:

- obsah výuky, tedy učivo;
- učitel, který zprostředkovává učivo a řídí učební činnosti žáků;
- žák, který si učivo osvojuje;
- a již zmíněné didaktické prostředky (Maňák, 2003).

Vzájemné působení těchto čtyř složek je schematicky zobrazeno na Obrázku 2.



Obrázek 2 Schéma výchovně vzdělávacího procesu, zdroj: (Maňák, 2003)

Didaktické prostředky jsou jednou z komponent podmiňující výchovně vzdělávací proces. Maňák (2003, s. 49) definuje didaktické prostředky jako: „*předměty a jevy sloužící k dosažení vytyčených cílů*“. Obst (2002, s. 337) zmiňuje, že se jedná o: „*vše, čeho učitel a žáci mohou využít k dosažení výukových cílů*“. Didaktické prostředky rozdělují autoři na materiální a nemateriální povahy (Geschwinder a kol., 1995; Maňák, 2003; Obst, 2002). Mezi nemateriální didaktické prostředky zařazujeme např. metody a formy výuky.

K materiálním patří učební pomůcky, didaktická technika, výukové prostory a další (Zormanová, 2014).

V užším smyslu jsou didaktické prostředky chápány pouze jako předměty materiální povahy zajišťující a zefektivňující výuku, které úzce souvisí právě s vyučovacími metodami a organizační formou výuky (Maňák, 2003).

Rambousek a kol. (1989) dělí materiální didaktické prostředky do šesti základních kategorií:

1. Učební pomůcky – mají z didaktických prostředků nejbližší k obsahu výuky (Rambousek a kol., 1989). Učební pomůcky bezprostředně pomáhají k hlubšímu osvojení vědomostí a dovedností. Lze je dále rozčlenit na:
 - a. skutečné předměty,
 - b. modely – statické nebo dynamické,
 - c. zobrazení – obrazy, symbolická zobrazení, statická projekce, dynamická projekce;
 - d. zvukové pomůcky,
 - e. dotykové pomůcky,
 - f. literární pomůcky – učebnice, atlasy, texty;
 - g. programy pro vyučovací automaty a počítače (Maňák, 2003).
2. Metodické pomůcky – jsou určeny učitelům, který je využívá v rámci plánovací, řídicí nebo kontrolní činnosti. Do této skupiny patří metodické příručky, odborná literatura či sbírky úloh.
3. Zařízení – nesouvisí s obsahem výuky. Zařízení představuje vybavení učeben, přístroje, nábytek.
4. Didaktická technika – umožňuje především prezentaci určitých učebních pomůcek. Stejně jako zařízení není didaktická technika přímo ovlivňována obsahem výuky. Pod didaktickou technikou si lze představit tabuli, promítací techniku (např. projektory), zvukovou techniku (např. magnetofon), počítače zapojené do výuky a další.
5. Školní potřeby – využívají žáci při grafickém záznamu nebo dalších učebních činnostech. Školní potřeby zahrnují sešity, psací a rýsovací potřeby, štětce a další.
6. Výukové prostory – jsou vnitřní nebo venkovní prostory, které slouží didaktickým účelům, tedy ku příkladu odborné učebny, laboratoře, tělocvična (Rambousek a kol., 1989)

Materiální didaktické prostředky lze uplatnit ve všech fázích výuky. Při zařazování těchto prostředků do výuky musí učitel dbát především na funkční hledisko. Jejich využívání je nutno vnímat jako prostředek výuky, nikoliv její cíl (Obst, 2002)

1.3.1 Zařazení digitálních technologií do výuky

Digitální technologie jsou běžnou součástí života každého člověka. S rozvojem digitálních technologií došlo ke změně způsobu komunikace a spolupráce, dostupnosti informací, a tím i způsobu, jak s nimi pracovat a jak na ně nahlížet (OECD, 2005). Vzdělávací systém musí na tyto změny reagovat a začlenit je do vzdělávání.

Bylo vytvořeno mnoho konceptů pro kompetence 21. století, jejichž součástí je právě digitální gramotnost (např. Finegold & Notabartolo, 2010; Larson & Miller, 2011; Trilling & Fadel, 2009). Orientace českého vzdělávání tímto směrem je předpokládána mnohými dokumenty schválenými MŠMT, jako např. Návrh koncepce rozvoje informačních a komunikačních technologií v období 2009–2013 (MŠMT, 2008), Strategie digitálního vzdělávání do roku 2020 (MŠMT, 2014) nebo Strategie vzdělávací politiky ČR do roku 2030+ (MŠMT, 2020). Digitální kompetence se promítla i do nově revidované verze RVP ZV a zařadila se k původním šesti klíčovým kompetencím (srov. RVP ZV, 2017; RVP ZV 2021)

Splnění požadavků výše uvedených dokumentů je možné pouze za předpokladu zařazení moderních technologií do výuky, a to ze strany učitelů i žáků. K moderním technologiím patří počítače, interaktivní tabule, mobilní telefony, tablety a další. Tyto technologie umožňují zapojit do výuky digitální média jako je například video, animace, simulace, prostředí virtuální reality, nejrůznější aplikace a programy.

Jedním z cílů multimediální výuky je zatraktivnit a zefektivnit proces výuky a nabídnout možnosti aktivizace žáků, díky čemuž získají nové vědomosti a dovednosti (Serafin, 2019). Šimek a Bílek (2014) potvrzují myšlenku zapojení digitálních technologií jako přínos pro zvýšení atraktivity neoblíbených přírodovědných předmětů a pro zlepšení výkonu žáků v těchto předmětech. S ohledem na výše zmíněná specifika výuky chemie moderní technologie podstatně lépe umožňují prezentaci dynamické, interaktivní a částicové povahy tohoto předmětu na rozdíl od statických vizuálií v učebnicích (Tasker & Dalton, 2006).

S interaktivností a dynamičností didaktických prostředků nepřináší pouze benefity. Studie ukázaly, že při využití příliš komplexních a dynamických animací budou mít žáci potíže získat z nich informace (Ayres a kol., 2005). Důvodem je, že takové animace a simulace představují pro žáky kognitivní zátěž, čímž se pro ně ukazují jako nevhodné (Gilbert a kol., 2007).

Zařazení moderních technologií závisí na vybavenosti škol a míře podpory inovací ze strany školy (MŠMT, 2014). Česká školní inspekce v rámci šetření vybavenosti tříd technologiemi zjistila, že lze aktivně zapojit všechny žáky současně do práce na PC či jiném zařízení pro všechny předměty v méně než 40 % škol (ČŠI, 2017). Přes 38 % učitelů uvádí poruchovost a nespolehlivost ICT zařízení, 30 % jejich nedostatečnou kvalitu a více než čtvrtina učitelů nedostatečnou vybavenost zařízeními jako překážku pro jejich zapojení do výuky (NKÚ, 2019).

Velmi podstatným prvkem zavádění ICT do výuky jsou samozřejmě učitelé a jejich kompetence pracovat s technologiemi, tj. jejich technologicko-pedagogická znalost obsahu (Mishra & Koehler, 2006). 30 % učitelů pocituje nejistotu v ovládní ICT v průběhu vyučovací hodiny (NKÚ, 2019). Je proto nutné podpořit vzdělávání pedagogů v této oblasti, aby získali digitální kompetence. Samozřejmě je nutné i zařadit a posilovat digitální kompetence už v rámci pregraduální přípravy učitelů (MŠMT, 2020).

Zároveň je třeba dbát na to, aby začlenění digitálních technologií do výuky bylo účelné a vztahující se k cílům výuky (Šimek & Bílek, 2014). Mishra a Koehler (2006) uvádí, že vhodně zvolený výběr technologií a jejich zamýšlené využití ve výuce vyžaduje rozvoj komplexních odborných znalostí ze strany učitele.

1.3.2 Simulace a jejich využití ve výuce

Simulace představuje program, který obsahuje model určitého systému nebo procesu (De Jong & Van Joolingen, 1998). Jedná se o interaktivní programy. Jejich podstatou je, že uživatelé mohou v rámci simulace měnit parametry a pozorovat důsledky těchto změn (Blake & Scanlon, 2007).

Simulace podporují aktivní získávání znalostí pomocí autentických badatelských postupů, což představuje např. formulace otázek, stanovení hypotézy, rozhodování o parametrech experimentálního prostředí, sběr dat a jejich interpretace, ověření teorie (De Jong & Van Joolingen, 1998). Vzhledem k aktivnímu zapojení žáků je lze označit za jeden z přístupů aktivního učení. Učení zahrnující činnost je klíčem pro lepší zapamatování informací v porovnání s učením prostřednictvím čtení nebo poslouchání (Akpan, 2001).

Získávání znalostí tímto způsobem ovšem vyžaduje poměrně vysoké kognitivní nároky. To může vést k tomu, že žáci budou zkoušet pracovat se simulací pouze náhodně, nebo naopak budou nedostatečně využívat možností, které prostředí simulace nabízí. Aby bylo učení prostřednictvím simulací účinné, měli by mít žáci možnost využít podporu. Pomoc může

poskytnout učitel nebo je součástí počítačového výukového prostředí (De Jong & Van Joolingen, 1998).

Ve výuce přírodních věd je přínosné využít simulace pro představení jevů a procesů, které jsou příliš pomalé, příliš rychlé, příliš nebezpečné anebo příliš nákladné pro provedení ve škole (Wellington, 2003) nebo umožňují sledovat, co není okem viditelné (Moore a kol., 2014). Součástí simulace mohou být i různé diagramy, grafy, animace, zvuk a video, které přispívají k snadnějšímu porozumění (Ainsworth & Van Labeke, 2002). Žáci mohou díky simulacím zkoumat a rozvíjet souvislosti mezi více reprezentacemi (Moore a kol., 2014). Další výhodou simulací je, že usnadňují učiteli práci. Místo, aby se musel zabývat organizací experimentu a dohlížel na bezpečnost práce, může se učitel věnovat přímo žákům (Wellington, 2003). U zapojení simulací do výuky je důležité dát si pozornost na možnost vzniku tzv. *split attention affect*, kdy dochází k roztržštění pozornosti vlivem přílišné komplexnosti dynamické vizualizace – např. pokud se pohybuje více objektů současně (Lowe, 1999).

Způsoby zařazení simulací do výuky zmiňuje např. Moore a kol. (2014), a to:

- zapojení simulací pod vedením učitele,
- využití simulací žáky v rámci hodiny,
- využití studenty před nebo během laboratorních prací,
- součást zadání domácího úkolu.

Využití simulací ve výuce přírodních věd se nabízí v jednotlivých oborech – ve fyzice (Kim a kol., 2001; Pucholt, 2020), chemii (Moore a kol., 2014) nebo biologii (Havlíčková & Bílek, 2018; Kiboss a kol., 2004). Velké množství simulací je dostupné online, což umožňuje jejich flexibilní využití ve výuce. Vzhledem k zaměření této práce budou uvedeny možnosti zapojení simulací do výuky chemie. Mezi webové stránky volně nabízející počítačové simulace se zaměřením na chemii lze uvést například: AACT¹, CK12², BASF Virtual Lab³, GoReact⁴, JavaLab⁵ a nejznámější prostředí PhET⁶. Jedna ze simulací poslední jmenované organizace byla využita jako výzkumný nástroj v této diplomové práci.

¹ <https://teachchemistry.org/classroom-resources/simulations>

² <https://interactives.ck12.org/simulations/chemistry.html>

³ <https://virtualkidslab.basf.com/>

⁴ <https://www.msichicago.org/play/goreact/>

⁵ https://javalab.org/en/category/chemistry_en/

⁶ <https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter?subjects=chemistry&type=html,prototype>

1.4 Eye-tracking

Eye-tracking je metoda, kterou je zaznamenávána vizuální pozornost, tedy pohyb očí a lokalizace pohledu v čase (Carter & Luke, 2020). Získaná data ohledně vizuálního chování napomáhají výzkumníkům k pochopení kognitivních procesů (Beesley a kol., 2019; Rayner, 1998). Tato metoda výzkumu totiž vychází z hypotézy označované jako *eye-mind hypothesis*. Dle tohoto předpokladu odpovídá sledovaná oblast tomu, o čem člověk přemýšlí (Just & Carpenter, 1976). Ačkoliv se ukazuje, že tato myšlenka není absolutní (Anderson a kol., 2004; Murray a kol., 2013; Steindorf & Rummel, 2019), sledování pohledu očí napomáhá osvětlit kognitivní procesy (Carter & Luke, 2020).

1.4.1 Lidské oko a charakteristika jeho základních pohybů

Pro porozumění principu metody eye-trackingu je nezbytná znalost základní fyziologie lidského oka (viz Duchowski, 2017, ss. 18-28; Holmqvist a kol., 2011, ss. 12-33) a charakteristiky očních pohybů.

Ve velmi zjednodušené podobě je možné oko označit za fotoaparát se clonou, čočkou a fotosenzitivní oblastí. Funkcí oka je totiž shromažďování, zaostřování a přenos světla. Světlo vstupuje do oka zornicí. Ta na základě změny průměru ovlivňuje množství vstupujícího světla. Čočka toto světlo zaostří tak, aby dopadalo na sítnici (Carter & Luke, 2020; Wade & Tatler, 2005), kde se nachází světločivné buňky, tyčinky a čípky. Tyto buňky přeměňují příchozí světlo na elektrický signál, který je dále zpracován nervovou soustavou. K nejostřejšímu vidění dochází, pokud světlo dopadne na část sítnice, kde se nachází největší počet světločivných buněk. Toto místo je označováno jako žlutá skvrna. Aby světlo dopadlo na žlutou skvrnu, a tak bylo umožněno ostré vidění, musí se oči pohybovat. Pohyby očí zajišťují okohybné svaly (Holmqvist a kol., 2011).

Jako základní typy pohybu očí je možné jmenovat: fixace, sakády, glisády, plynulé sledovací oční pohyby (*smooth pursuit*), mikrosakády, drobný třes (*tremor*), unášivý pohyb očí (*drift*) (Holmqvist a kol., 2011). Oko provádí část z těchto pohybů úmyslně a jiné z nich nepodléhají volní kontrole (Carter & Luke, 2020).

Fixace nepředstavují pohyb oka, ale dobu, kdy jsou oči upřeny na vizuální podnět, např. na slovo, a zdají se být stabilní (Holmqvist a kol., 2011). Během toho jsou přijímány informace z vizuálního podnětu (Rayner, 2009). Přestože se oko zdá být v klidu, ve skutečnosti se odehrávají drobné nezáměrné pohyby, kam se řadí třes, mikrosakády a drift (Martinez-Conde a kol., 2004). Fixace trvají obvykle okolo 200 až 300 milisekund (Holmqvist a kol., 2011).

Jejich délka závisí na povaze vizuálního podnětu, účelu a složitosti úkonu, dovednosti a pozornosti jedince (Rayner, 2009).

Sakády jsou velmi rychlé pohyby očí, které se odehrávají mezi jednotlivými fixacemi. Jako příklad lze uvést pohyb oka při čtení od jednoho slova k jinému. (Holmqvist a kol., 2011). Trvání sakadického pohybu souvisí se vzdáleností mezi fixacemi (Rayner, 2009) a odpovídá 30 až 80 milisekundám (Holmqvist a kol., 2011). Oko se pohybuje tak rychle, že během tohoto typu pohybu není přijímána žádná vizuální informace (Rayner, 2009). Často se stává, že sakáda neskončí přímo na požadovaném cíli, ale kousek před ním. Pohyb, který tento jev vyrovnává, je označován jako glisády (Holmqvist a kol., 2011).

Plynulé sledovací oční pohyby se uplatňují, jak z názvu vyplývá, při sledování pohybujícího se objektu. Při tomto pohybu se oči přizpůsobují rychlosti a vzdálenosti pozorovaného objektu (Duchowski, 2017), aby byl zachován zřetelný pohled na daný cíl (Barnes, 2008).

1.4.2 Vývoj eye-trackingu

Způsoby sledování pohybu očí se neustále vyvíjejí. Zde je pro představu uveden krátký přehled vývoje této metody.

Plużyczka (2018) rozděluje vývoj metody sledování očí do tří fází. Do první fáze spadají počátky studií sledování očních pohybů při čtení a vytvoření prvních přístrojů pro sledování očí. Ve druhé fázi se díky zdokonalení stala tato technologie neinvazivní. Třetí fáze je zaměřena na hledání souvislostí mezi vnímáním a kognitivními procesy.

Někdy se za úplné počátky historie eye-trackingu považují Aristotelova zjištění ze čtvrtého století před naším letopočtem, ve kterých se zabýval a popsal mnoho znaků vnímání (Wade & Tatler, 2005).

Za prvního, kdo provedl vědeckou studii pohybu očí, se považuje Louis Émile Javal. Tento oční lékař se na konci 70. let 19. století zabýval pohybem očí při čtení, aniž by využil jakékoli zařízení. Bylo zjištěno, že oči se nepohybují plynule, jak se předpokládalo, ale pravidelně se zastavují, a následně provádí rychlé skoky od jednoho slova k dalšímu (Beesley a kol., 2019; Plużyczka, 2018).

První eye-trackery, zařízení ke sledování očí, byly vytvořeny na konci 19. století a byly pro oko poměrně invazivní. Zařízení totiž byla často s okem přímo spojena. Jako příklad lze uvést metodu využití sádrového kalíšku s otvorem pro čtení, který přilnul na oko. K sádrovému kalíšku byl připojený drátek, který pohyboval s pákou a ta zakreslovala pohyby oka na povrch kinematografického válce (Wade & Tatler, 2005).

V průběhu dalšího vývoje na počátku 20. století se eye-trackery sice staly neinvazivní, ale respondenti museli udržet hlavu v nehybné poloze, aby mohl přístroj zaznamenávat změny pohybu očí. V této době již eye-trackery využívaly odraz světla. Zmíněnou změnu v technologii proslavil Raymond Dodge (Płużyczka, 2018).

Eye-trackery se díky rozvoji technologií staly více uživatelsky přátelské (Carter & Luke, 2020). V 50. letech vyvinuli Hartridge a Thomson typ přístroje, který se nasadil na hlavu respondenta a poprvé připouštěl částečně pohyb hlavy. Eye-trackery postupně umožňovaly testovaným osobám stále více pohodlí, byly přesnější, ale také dokázaly automatickou analýzu dat. (Carter & Luke, 2020; Płużyczka, 2018).

V současnosti je nejvíce využívanou technikou ke sledování směru pohledu očí metoda založená na principu detekce středu zornice a odrazu infračerveného záření od rohovky – tzv. *Pupil and Corneal Reflexion Tracking*. Existují dva hlavní typy eye-trackerů fungující na tomto principu, dálkové a mobilní. Dálkové jsou umístěny pod monitorem, na kterém respondent sleduje vizuální stimul (Popelka, 2018). Není tak možné jejich využití mimo eye-trackingovou laboratoř – specializovaná místnost uzpůsobená k měření měření (Bojko, 2013). Měření v reálném prostředí umožňují mobilní eye-trackery, které má respondent umístěné na hlavě v podobě brýlí nebo přilby (Popelka, 2018).

Vzhledem k nárůstu počtu publikací využívajících eye-tracking lze předpokládat, že jeho využití stoupá (Carter & Luke, 2020). Tato metoda se uplatňuje v nejrůznějších oborech: od psychologie (Mele & Federici, 2012), přes oblast medicíny (Harezlak & Kasproski, 2018) nebo například marketingu (Wedel & Pieters, 2008), až ke vzdělávání (Lai a kol., 2013).

1.4.3 Analýza eye-trackingových dat

Eye-tracking výzkumníkům umožňuje provádět jak kvantitativní, tak kvalitativní analýzu dat (Bojko, 2013). Terminologie v této oblasti není jednotná (Holmqvist a kol., 2011). Označení uvedená v této kapitole budou využívána i v následujících částech práce a odpovídají označením uvedeným v eye-trackingovém softwaru Tobii Pro Lab, který byl použit v tomto výzkumu.

K základním metodám kvalitativní analýzy eye-trackingových dat patří vizualizace trajektorií, která umožňuje výzkumníkům sledovat dráhu oka po stimulu. Pomocí nich jsou získány informace o tom, kam se respondent postupně díval. Existuje vizualizace trajektorií statická a dynamická (Popelka, 2018). Statický typ představuje tzv. *Gaze Plot*, což je diagram shrnující všechny trajektorie, které respondent provedl při pohledu na vizuální stimul. Gaze plot

zobrazuje fixace pomocí kruhů a sakády pomocí linií spojujících jednotlivé fixace. Průměr kruhu zohledňuje délku fixace a číslo v kruhu její pořadí (Kekule, 2014). Vizualizace dat pomocí Gaze plotu je na Obrázku 3 dále. Za limit tohoto typu vizualizace je možné uvést vzájemné překrývání jednotlivých fixací a sakád (Räihä a kol., 2005), ke kterým dochází například v případě, kdy je analyzováno velké množství dat najednou (Rakoczi & Pohl, 2012). K tomuto omezení nedochází při využití dynamického způsobu vizualizace trajektorií, tedy tzv. *Gaze Replay*. Jedná se o videozáznam, ve kterém pohybující se bod po prezentovaném stimulu znázorňuje, na co se respondent soustředil (Popelka, 2018). Tyto typy vizualizace trajektorií jsou vhodné k analýze postupů respondentů (Kekule, 2014).

Dalším způsobem vizualizace dat jsou tzv. *Heat mapy*. Heat mapy pomocí barevné škály znázorňují, kam a jak dlouho byla směřována pozornost respondenta (Bojko, 2013) za celou dobu sledování prezentovaného stimulu (Holmqvist a kol., 2011). Tento způsob vizualizace dat se často využívá pro porovnání rozdílného chování respondentů na stejném stimulu (Popelka, 2018). Ukázka heat mapy je na Obrázku 3. Na tomto obrázku je možné porovnat způsob vizualizace prostřednictvím heat mapy a prostřednictvím gaze plot pro totožná data.



Obrázek 3 Porovnání dvou způsobů vizualizace na příkladu totožných dat - gaze plot (na levé straně) a heat mapa (na pravé straně), zdroj: (Mihajlov & Jerman-Blazic, 2017)

Jak u gaze plot, tak i u heat mapy je možné agregovat data více respondentů. Zatímco u heatmapy jsou data sloučena kompletně a není možné rozlišit jednotlivé respondenty, gaze plot toto umožňuje a rozlišuje respondenty pomocí různých barev (Bojko, 2013).

Příprava kvantitativní analýzy je většinou složitější a delší než u kvalitativních dat, jelikož je potřeba provést několik dalších kroků. Tyto kroky představuje vyznačení oblastí zájmu a export dat (Bojko, 2013).

Oblast zájmu neboli *Area of interest* (AOI) je oblast vizuálního stimulu, která má specifický význam pro výzkum. Obvykle označuje část objektu nebo celý objekt (Blascheck a kol., 2017). U jednotlivých oblastí zájmu jsou sledovány metriky jako například počet fixací (*Number of fixations*), celková délka fixací (*Total duration of fixations*), počet sakád (*Number of saccades in AOI*) a další (viz Popelka, 2018).

2 Cíl práce a výzkumné otázky

Cílem diplomové práce bylo analyzovat postupy studentů při vyčíslování chemických rovnic za využití appletu Balancing Chemical Equations a objasnit souvislosti aspektů postupů s úspěšností ve vyčíslování.

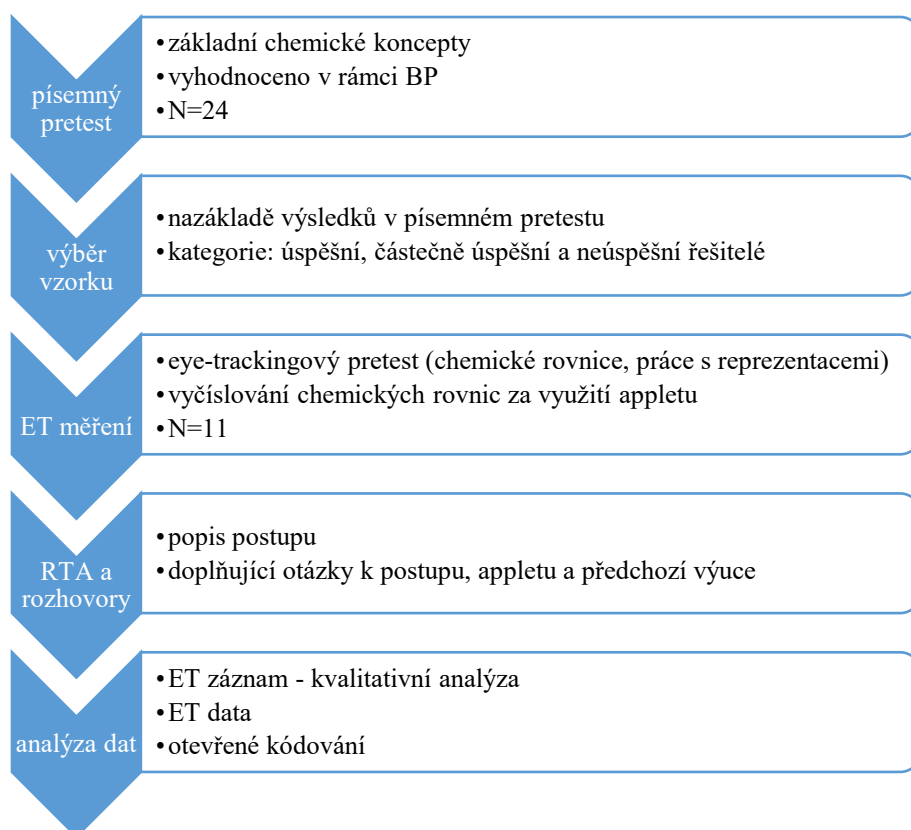
Práce byla vedena následujícími výzkumnými otázkami:

- Jak jsou studenti učitelství chemie úspěšní ve vyčíslování chemických rovnic?
- Jaké postupy volí studenti při vyčíslování chemických rovnic?
- Jak studenti využívají prostředí appletu při vyčíslování chemických rovnic?
- Jak probíhala výuka zaměřená na vyčíslování chemických rovnic, kterou absolvovali vybraní studenti?

3 Metodologie

K dosažení cíle práce byla využita metoda eye-trackingu v kombinaci s think-aloud a rozhovory.

Metodologickou předlohou byl výzkum, který realizovala Hansen (2014). Výzkumný design se sestával z několika fází a je stručně představen na Obrázku 4. Jednotlivé fáze, výzkumné metody a nástroje budou podrobněji přiblíženy v následujících podkapitolách.



Obrázek 4 Výzkumný design

3.1 Použité výzkumné metody a jejich zdůvodnění

Ke sledování postupu studentů při vyčíslování rovnic v appletu a využívání jeho prostředí byl využit eye-tracking. Na základě eye-trackingového záznamu bylo možné sledovat pořadí fixací, počet fixací jednotlivých AOIs, dobu, kterou strávili v jednotlivých AOIS, a počet sakád během jejich postupu.

Z eye-trackingu byly sice získány informace o tom, na co směřovali respondenti pozornost, ale nelze na základě těchto dat vysvětlit, proč byla daná AOI fixována a zda jí respondenti porozuměli (Hyönä, 2010), nebo zda byla AOI využita k řešení (Jiang a kol., 2016). K tomu sloužil retrospektivní think-aloud (RTA) a rozhovory. Retrospektivní přístup byl vyhodnocen jako vhodnější, jelikož by souběžný think-aloud způsoboval vyšší kognitivní zátěž a bylo

by možné přijít o část dat (Preece a kol., 1994). Díky RTA a rozhovorům bylo dovysvětleno vizuálního chování jednotlivých respondentů – např. objasnění využití nebo nezahrnutí částí appletu, vysvětlení nezvyklého postupu, neobvyklá doba fixace atd.; ale i jejich zkušenosti s výukou chemických rovnic během předchozího studia.

Využití zmíněných metod umožnilo získat komplexní informace ohledně přístupu studentů k vyčíslování rovnic nejen v prostředí appletu. Kombinace těchto metod se ukázala jako přínosná i v jiných výzkumech (např. Tóthová & Rusek, 2022).

3.2 Výzkumné nástroje

Jako výzkumné nástroje byly využity dva typy pretestů, z čehož každý ověřoval částečně jiné znalosti a schopnosti studentů. Dalším využitým výzkumným nástrojem byl applet pro vyčíslování chemických rovnic. Jednotlivé výzkumné nástroje budou blíže popsány.

3.2.1 Písemný pretest

Písemný pretest se skládal z 16 položek. Každá otázka byla s výběrem odpovědí, kdy vždy pouze jedna odpověď byla správná. Pro každou položku bylo tři až pět variant odpovědi. Tento pretest byl převzat od autorky Hansen (2014). Původní test byl v rozsahu 15 otázek. Pro tento výzkum byl tedy rozšířen o jednu otázku, a to o otázku č. 14. Otázky byly přeloženy z anglického originálu. Součástí některých otázek byla schémata, která byla pro větší přehlednost zaměněna za vlastní. Test byl kromě otázek doplněn o další vrstvu, ve které byla sledována míra jistoty odpovědi studentů u jednotlivých otázek.

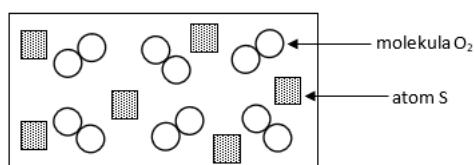
Tento pretest byl obsahově zaměřen na částicové složení hmoty. Ověřovány byly zejména znalosti definic a charakteristik základních konceptů v této oblasti, a porozumění jim. Ověřované koncepty a pojmy prostřednictvím pretestu byly následující: atom, molekula, prvek, chemicky čistá látka, sloučenina, směs, roztok, chemická vazba, chemická přeměna a zákon zachování hmotnosti.

Součástí tohoto pretestu byly i čtyři otázky ověřující porozumění sub-mikro reprezentacím. Jednalo se o otázku 6 a otázky 14-16. Vzhledem k tomu, že v této práci bude analyzováno, jak respondenti využívali sub-mikro úroveň v prostředí appletu zaměřeného na vyčíslování rovnic a jakou schopnost práce se sub-mikro reprezentacemi vykazovali v pretestech, budou tyto položky blíže popsány.

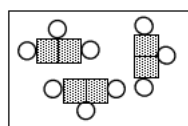
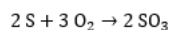
Otázka 6 je komplexní a ověřovala několik konceptů dohromady. Úkolem bylo vybrat odpovídající sub-mikro schéma představující výsledek chemické reakce, pokud byla zadána vyčíslená reakce této rovnice a sub-mikro diagram znázorňující výchozí stav. V této položce

tedy bylo sledováno, jestli studenti dokáží přiřadit správnou sub-mikro reprezentaci ke vzorci a zda uplatňují zákon zachování hmotnosti. Tato položky se všemi variantami odpovědi je zobrazena na Obrázku 5 níže. V písemné verzi pretestu se v této otázka vyskytla chyba ve vyčíslení rovnice, kdy namísto $2 S + 3 O_2 \rightarrow 2 SO_3$ bylo rovnice v podobě $2 S + O_2 \rightarrow 2 SO_3$. Získané výsledky je tedy nutné hodnotit s jistou opatrností.

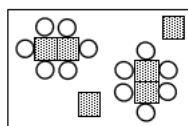
6. Diagram znázorňuje směs atomů S a molekul O_2 v uzavřené nádobě.



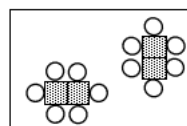
Který z následujících diagramů zobrazuje reálný výsledek reakce poté, co směs v nádobě zreagovala dle rovnice:



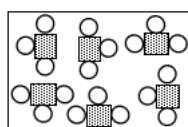
(a)



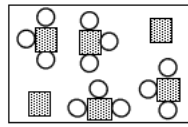
(b)



(c)



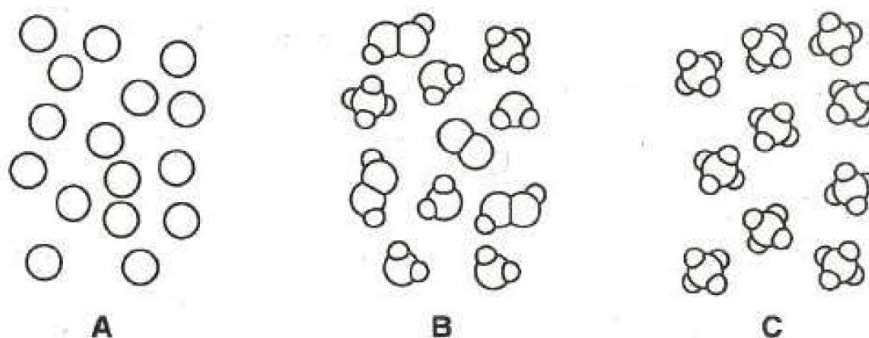
(d)



(e)

Obrázek 5 Podoba položky 6 písemného pretestu

Otázky 14-16 se zaměřovaly na koncepty chemicky čistá látka, sloučenina a směs s porozumění na sub-mikro úrovni. U každé otázky měli studenti pro jednotlivé pojmy vybrat odpovídající sub-mikro diagram. Byla tedy nutná znalost správné definice daných konceptů. Na obrázku 6 jsou sub-mikro diagramy, které byly součástí položek 14-16.



Obrázek 6 Diagramy se sub-mikro modely jakou součástí položek 14-16 písemného pretestu

Ostatní položky písemného pretestu je možné najít podrobněji popsány v předchozí bakalářské práci (Hamerská, 2023). Celé znění písemného pretestu je k nahlédnutí v Příloze 1.

Za každou správnou odpověď získali respondenti jeden bod. Maximální možný počet bodů z písemného pretestu odpovídá 16 bodům. Tento pretest byl využit k rozřazení studentů do tří kategorií dle úspěšnosti. Blíže bude výběr vzorku popsán dále.

3.2.2 *Pretest k eye-trackingu*

Eye-trackingový pretest obsahoval čtyři úlohy zaměřené na chemické rovnice a zobrazení chemické reakce pomocí různých reprezentací. Znění úloh v pretestu bylo opět převzato a z práce Hansen (2014), přeloženo a upraveno. V úloze 2 byly některé obrázky a jejich uspořádání změněny oproti původní verzi. V tomto pretestu bylo ověřováno, jak respondenti rozumí konceptu chemických rovnic a jak dokážou pracovat s reprezentacemi a přecházet mezi nimi.

V úloze 1 bylo úkolem slovně popsat vyčíslenou chemickou rovnici. V této úloze byla využita pouze symbolická úroveň reprezentací. Součástí úlohy byl klíč, ve kterém byly uvedeny názvy látek pro jednotlivé vzorce zastoupené v rovnici. V této úloze bylo vyhodnocováno, jak a jestli respondenti uváděli množství látek, a zda k popisu látek využili klíč.

Ve druhé úloze měli respondenti slovně popsat chemickou reakci, která byla zobrazena na všech třech úrovních reprezentací. Výchozí látky a produkty byly uvedeny jak pomocí značek, tak pomocí názvů. Všechny reagující látky byly zobrazené pomocí modelů a společně s průběhem reakce taky pomocí fotografií představujících makro úroveň. Bylo sledováno, které úrovně reprezentací studenti sledovali a které se rozhodli zahrnout do své odpovědi.

Třetí úloha požadovala po studentech, aby uvedli chemickou rovnici pro slovně popsanou chemickou reakci. U této úlohy bylo ověřováno, jestli studenti uvedli chemickou rovnici vyčíslenou, přestože to nebylo explicitně uvedeno v zadání úlohy.

V poslední úloze měli studenti uvést chemickou rovnici na základě sub-mikro diagramu zobrazujícího chemickou reakci. K dispozici byl klíč zprostředkávající vzorce modelů výchozích látek. Pro řešení úlohy bylo nutné identifikovat atomy v sub-mikro diagramu, vytvořit vzorec produktu podle modelu a na základě počtu částic v diagramu chemickou rovnici vyčíslit a uvést v základním tvaru.

Za každou úlohu bylo možné získat dva body při zcela správné odpovědi. Za částečně správnou odpověď obdrželi respondenti jeden bod. Nesprávná odpověď nebyla ohodnocena žádným bodem. Celkově mohli získat respondenti až osm bodů. Podrobněji je bodování jednotlivých úloh rozvedeno v předchozí práci (Hamerská, 2023).

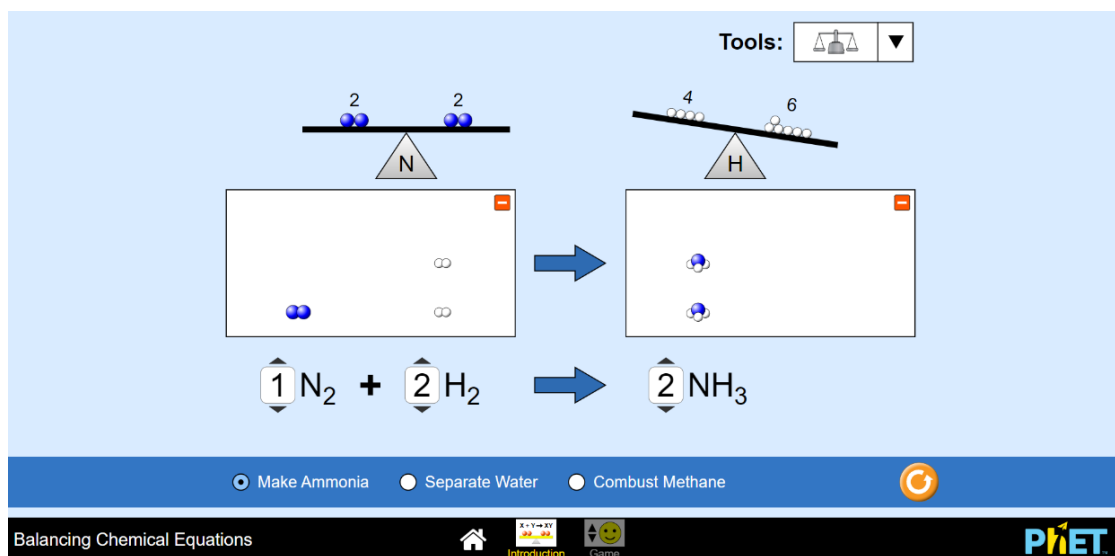
Podobu pretestu k eye-trackingu je možné si prohlédnout v Příloze 2.

3.2.3 Applet vyčíslování rovnic

K vyčíslování chemických rovnic byl využit applet PHET: Balancing Chemical Equations¹. Ten pracuje jak s chemickou rovnicí jakožto zápisem na symbolické úrovni, tak jsou v něm znázorněny modely výchozích látek a produktů. Uživatel zvyšuje počet jednotlivých částic v rovnici pomocí šipek. V závislosti na stavu počtu částic v rovnici se mění i odpovídající počet modelů částic.

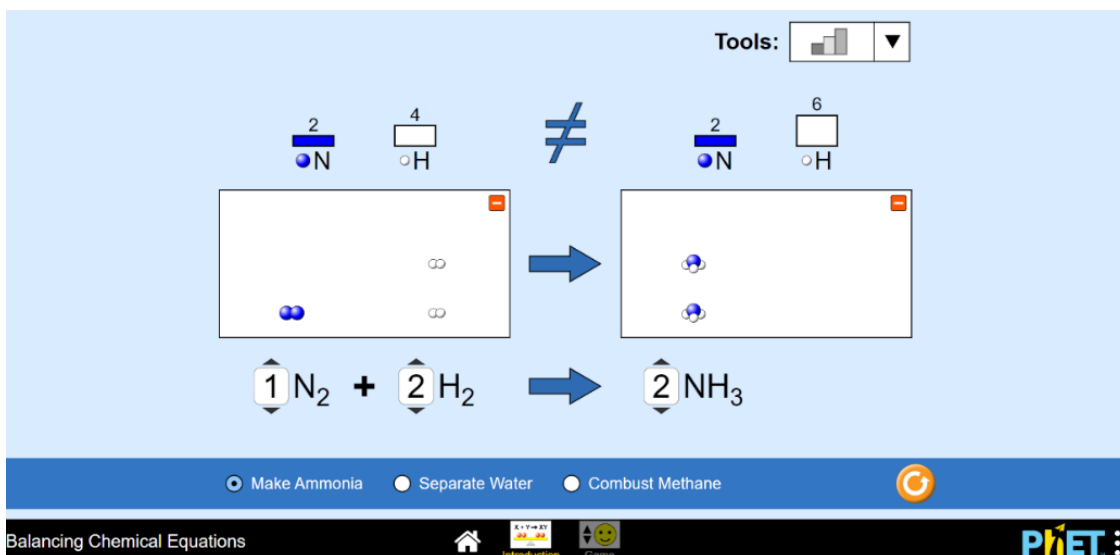
V appletu jsou na začátku všechny reaktanty se stechiometrickým koeficientem 0 a pokud má být reaktant zastoupen ve vyčíslené rovnici pouze jednou, je nutné nastavit koeficient 1, který se běžně v rovnici nezapíše.

Simulace obsahuje úvodní část. Zde jsou v nabídce tři rovnice, a to: syntéza amoniaku, rozklad vody, spalování methanu. V této části je navíc možné využít doplňkový nástroj, který znázorňuje poměr atomů mezi levou a pravou stranou rovnice. To je zobrazeno pomocí vah nebo sloupcových grafů. Pro porovnání jsou obě varianty uvedeny na Obrázcích 7 a 8 níže. Jakmile je rovnice vyčíslena ve správném poměru, vyčíslování rovnice je samo ukončeno.



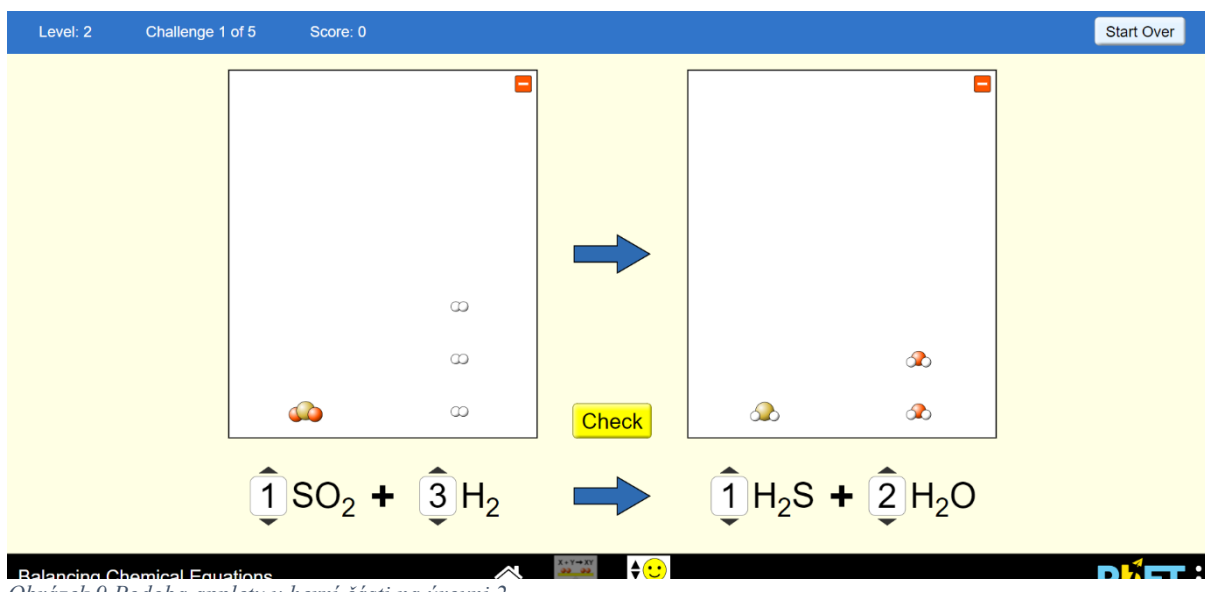
Obrázek 7 Podoba appletu v úvodní části s využitím vah jako doplňkového nástroje

¹ https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-chemical-equations/latest/balancing-chemical-equations_en.html



Obrázek 8 Podoba appletu v úvodní části s využitím sloupcových grafů jako doplňkového nástroje

Druhá část simulace je označena jako hra. V této části uživatel pracuje pouze s rovnicí a modely. Není zde možnost využití doplňkových nástrojů jako v úvodní části. Hra je rozdělena na tři úrovně, které se liší obtížností. V první, nejjednodušší, úrovni uživatel vyčísľuje rovnici, ve které vystupují tři látky. Ve druhé a třetí úrovni jsou rovnice vždy o čtyřech členech. Rovnice na úrovni 3 jsou více náročné a obsahují vyšší hodnoty stechiometrických koeficientů. Maximální hodnota koeficientu je 7. Podoba prostředí simulace herní části úrovně 2 je zobrazena na obrázku 9. V prostředí herní části applet nenabízí možnost ovlivnit výběr chemické rovnice, ale zobrazují se v náhodném pořadí. V této části musí uživatel sám potvrdit pomocí tlačítka, pokud rovnici považuje za vyčísľenou. Okamžitě se zobrazí zpětná vazba, zda je rovnice vyčísľena správně, či nikoliv. Konkrétní zpětná vazba je na Obrázku 10 níže.



Obrázek 9 Podoba appletu v herní části na úrovni 2

Student má až dva pokusy na vyčíslení každé rovnice v herní části. Pokud je vyčíslena správně, získává 2 body a je možné přejít k další rovnici téže úrovně. Pokud je rovnice vyčíslena nesprávně, uživatel má druhý pokus na to, aby vyčíslení rovnice opravil. Pokud je rovnice vyčíslena díky opravnému pokusu, obdrží 1 bod. Když rovnici nedokáže vyčíslit správně, ukáže se správné řešení a není získán žádný bod. Pak lze přejít k další rovnici.

V případě, že je rovnice vyčíslena ve správném poměru, ale není v základním tvaru, považuje se odpověď jako nesprávná a je možné zkusit vyčíslit rovnici znovu. V zobrazené zpětné vazbě je uvedeno, že rovnice je sice vyčíslená, ale není zkrácená (viz Obrázek 10).

The screenshot shows a game interface for balancing chemical equations. At the top, it displays 'Level: 2', 'Challenge 1 of 5', and 'Score: 0'. A 'Start Over' button is in the top right. The main area shows a chemical equation: $2 \text{OF}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{O}_2 + 4 \text{HF}$. Above the equation, there are two boxes containing ball-and-stick molecular models. A blue feedback box is centered over the equation, containing a yellow smiley face, a green checkmark, and the text 'balanced', followed by a red 'X' and the text 'not simplified'. Below this, there is a yellow 'Try Again' button. At the bottom of the interface, there is a navigation bar with icons for 'Balancing Chemical Equations', 'Introduction', and 'Game', along with the 'PhET' logo.

Obrázek 10 Ukázka podoby zpětné vazby v případě, že je rovnice nezkrácená

Pokud není rovnice na první pokus vyčíslena, je umožněno zobrazit si zdůvodnění v podobě vah anebo sloupcových grafů ukazující poměr jednotlivých atomů. Způsob znázornění poměru atomů závisí na úrovni obtížnosti.

3.3 Výběr vzorku respondentů

První částí výzkumu, písemného pretestu, se zúčastnilo 24 studentů prvního ročníku bakalářského studia zaměřeného na učitelství chemie na Pedagogické fakultě Univerzity Karlovy. Písemný pretest jim byl zadán na začátku prvního semestru jejich studia.

Z těchto studentů bylo potřeba vybrat menší vzorek respondentů, kteří by se účastnili další fáze výzkumu, eye-trackingového měření. Na základě úspěšnosti v písemném pretestu byli studenti rozděleni do tří kategorií: úspěšní řešitelé, částečně úspěšní řešitelé a neúspěšní řešitelé. Bodové rozpětí jednotlivých kategorií a počet studentů, kteří daného rozpětí dosáhli, bylo publikováno v předchozí práci (Hamerská, 2023).

Z každé kategorie bylo předpokládána účast čtyř respondentů v eye-trackingové studii. Studenti byli osloveni s žádostí o pokračování v další části výzkumu. Z kategorie neúspěšných řešitelů na tuto žádost kladně reagovali pouze tři studenti. Výzkumný vzorek v další části výzkumu tedy tvořilo 11 respondentů.

V Tabulce 5 níže je uveden přehled respondentů včetně informací o nich týkajících se jejich druhého oboru a předchozího studia. Studenti jsou barevně rozlišeni dle úspěšnosti v písemném pretestu. Toto barvené rozlišení bude využito i nadále v tabulkách v této práci.

Tabulka 5 Přehled respondentů

student	druhý obor	předchozím studium	pretest	
			počet bodů	procenta
Studentka 1	Biologie	farmacie	15	94 %
Studentka 2	matematika	architektura	15	94 %
Student 3	Biologie	VŠCHT	14	88 %
Studentka 4	matematika	příhláška na Zubní lékařství	14	88 %
Studentka 5	Biologie	přírodovědecká fakulta (Biologie)	13	81 %
Studentka 6	výchova ke zdraví	laboratorní asistent na SOŠ, jeden semestr na VŠCHT	12	75 %
Studentka 7	Biologie	VŠCHT (Potravinařství); nyní současně studuje publicistiku na VOŠ	12	75 %
Student 8	Biologie	/	12	75 %
Studentka 9	výchova ke zdraví	/	9	56 %
Studentka 10	matematika	příhláška na Všeobecné lékařství	8	50 %
Studentka 11	matematika	dva semestry na VŠCHT (Syntéza a výroba léčiv)	7	44 %

3.4 Sběr dat, specifikace využitého zařízení a podmínek měření

Data byla sesbírána prostřednictvím eye-trackingové studie a think-aloud s rozhovory. Této části výzkumu se respondenti účastnili jednotlivě. Průměrná doba sběru dat byla 45 až 60 minut. Nejprve respondenti řešili úlohy a vyčíslovali rovnice na počítači, zatímco byl eye-trackerem zaznamenáván jejich postup. Následně proběhl retrospektivní think-aloud a rozhovor.

Měření probíhalo v eye-trackingové laboratoři nacházející se přímo na fakultě. V místnosti byl během měření přítomen pouze výzkumník a respondent.

K záznamu pohybu očí byla využita oční kamera Tobii 250 Hz, která byla připojena k počítači a umístěna na spodní lištu obrazovky, na které byly respondentovi promítány vizuální stimuly. Pro ovládání appletu byla respondentovi k dispozici počítačová myš. Během měření byl využit ještě paralelně připojený notebook, který využíval výzkumník pro sledování a kontrolu správného záznamu, např. umístění pozice hlavy respondenta. K ukládání, zpracování a analýze eye-trackingových dat byl využit program Tobii Pro Lab.

Před začátkem měření byl respondent seznámen s jeho průběhem a byl požádán o souhlas s nahráváním postupu i následného think-aloud a rozhovoru na záznamník. Respondent se usadil před obrazovku do vhodné pozice tak, aby se v průběhu musel minimálně pohybovat a zároveň měl dostupnou počítačovou myš.

Před nahráváním bylo studentovi ukázáno prostředí appletu a vyzkoušel si jeho ovládání na příkladu jedné rovnice z úvodní části, rozkladu vody, a jedné rovnice herní části úrovně 1, která byla náhodně generovaná. Před měřením proběhla ještě kalibrace o 9 bodech.

Se spuštěním nahrávání byl respondentovi promítnut eye-trackingový pretest. Student řešil jednotlivé úlohy podle zadání a odpovědi na ně uváděl ústně. Jeho odpovědi si výzkumník zapisoval do záznamového protokolu (viz Příloha 3). Poté, co byl dokončen ET pretest, spustil se applet vyčíslování chemických rovnic. Každý respondent vyčísloval celkově šest chemických rovnic. Nejprve byly vyčíslovány dvě rovnice v úvodní části, ve které byly spuštěny váhy jako pomocný nástroj ukazující aktuální poměry prvků. Jednalo se o rovnici syntézy amoniaku a hoření methanu. V herní části vyčísloval student dvě rovnice úrovně 2 a dvě rovnice úrovně 3. Rovnice v herní části byly generovány náhodně, proto všichni respondenti neřešili stejné rovnice.

Po ukončení měření byl respondentovi spuštěn záznam jeho postupu. Student byl vyzván, aby na základě záznamu vysvětlil svůj postup. Pokud bylo potřeba, výzkumník požádal studenta o doplnění určité informace. Nakonec byli studenti dotazováni ohledně prostředí appletu a předchozí výuky chemických rovnic v rámci studia na ZŠ, SŠ, případně i VŠ.

Tato práce je zaměřena především na téma vyčíslování chemických rovnic. Analýza výsledků v obou pretestech byla publikována v předchozí práci autorky (Hamerská, 2023).

3.5 Analýza dat

Na základě videozáznamu z eye-trackingového měření a záznamu z retrospektivního think-aloud a rozhovoru byly analyzovány postupy studentů ve vyčíslování chemických rovnic.

Postupy studentů byly podrobeny zejména kvalitativní analýze, ale byly sledovány i kvantitativní metriky. Z eye-trackingového záznamu byly podrobně přepsány postupy studentů při vyčíslování jednotlivých rovnic. Další informace a vysvětlení poskytly doslovně přepsané rozhovory. K hledání společných a rozdílných aspektů postupů byla využita metoda otevřeného kódování (Švaříček & Šedřová, 2014) v programu QDA Miner Lite.

K získání informací ohledně využití prostředí appletu bylo nezbytné vyznačit oblasti zájmu. Každá oblast zájmu reprezentovala určitou část appletu. Příklad vyznačení AOIs je uveden pro jednu z rovnic na Obrázku 11. Na základě nich bylo možné určit, kterým oblastem studenti při vyčíslování věnovali pozornost. Tímto způsobem byly zjištěny kvantitativní informace jako celková doba fixací a počet sakád.

The screenshot shows the PhET 'Balancing Chemical Equations' applet. At the top right, there is a 'Tools' menu with a balance scale icon and a dropdown arrow. Below this are three balance scales: one for Carbon (C) with 1 ball on the left and 0 on the right; one for Hydrogen (H) with 4 balls on the left and 4 on the right; and one for Oxygen (O) with 4 balls on the left and 2 on the right. In the center, there are two boxes representing the reaction. The left box (yellow) shows the unbalanced equation: $1 \text{CH}_4 + 2 \text{O}_2$. The right box (green) shows the balanced equation: $0 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$. Below the boxes, the chemical equation is displayed with adjustable coefficients: $1 \text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow 0 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$. At the bottom, there are three radio buttons: 'Make Ammonia', 'Separate Water', and 'Combust Methane' (which is selected). The PhET logo is in the bottom right corner.

Obrázek 11 Ukázka vyznačení AOIs u druhé rovnice úvodní části

4 Výsledky a diskuze

Výsledky jsou dále pro přehlednost děleny na: část zaměřující se na úspěšnost ve vyčíslování, porovnání úspěšnosti ve všech částech výzkumu; analýzu postupů jednotlivých studentů, způsob využití prostředí appletu se sub-mikro oporou; podobu výuky vyčíslování chemických rovnic a shrnutí výsledků.

4.1 Pretesty

Samotnému vyčíslování rovnic v appletu předcházely písemný pretest a pretest jako součást eye-trackingu. Podrobněji byly výsledky zjištěné z pretestů publikovány v předchozí práci (Hamerská, 2023). V následujících podkapitolách je uvedeno jejich hlavní shrnutí.

4.1.1 Písemný pretest

Písemný pretest týkající se částicového složení hmoty ověřoval zejména znalosti definic a vlastností konceptů než-li konceptuální řešení problémů. Na základě výsledků v tomto pretestu byli studenti rozděleni do tří kategorií dle úspěšnosti, jak bylo popsáno v kapitole 3.3 *Výběr vzorku respondentů*.

Výsledky písemného pretestu poukázaly na nedostatečné porozumění základním chemickým konceptům studentů v této oblasti. V tomto pretestu se jako nejvíce problematické ukázaly koncepty sloučenina, stechiometrie a chemické rovnice v souvislosti se zákonem zachování hmotnosti.

Jak již bylo zmíněno, v písemném pretestu se objevily čtyři položky zahrnující porozumění sub-mikro reprezentacím. U těchto položek byla sledována nižší míra jistoty správnosti vlastní odpovědi než u položek nezahrnujících práci se sub-mikro reprezentacemi, přestože ověřovaly stejné koncepty. Naopak úspěšnost byla vyšší u stejně zaměřených položek obsahujících sub-mikro reprezentace.

Dále se ukázalo, že se úspěšní řešitelé dokáží lépe orientovat v reprezentacích na sub-mikro úrovni. Jejich úspěšnost ve vybraných položkách zahrnující sub-mikro reprezentace byla vyšší, narozdíl od částečně úspěšných a zejména neúspěšných řešitelů, u kterých se projeví potíže v řešení těchto položek.

4.1.2 Eye-trackingový pretest

Eye-trackingový pretest se blíže zaměřil na koncept chemických rovnic a jejich zobrazení pomocí různých typů reprezentací. U většiny studentů nepotvrdilo rozřazení dle úspěšnosti v předchozím, písemném pretestu. Pouze tři respondenti dosáhli vyrovnaného výsledku v obou

pretestech. Dva z nich patří k úspěšným řešitelům, u třetího se jednalo o neúspěšného řešitele. Částečně úspěšní řešitelé se v eye-trackingovém pretestu propadli až za neúspěšné řešitele.

Ve třech úlohách ze čtyř měli studenti v odpovědi uvést množství látek. Ukázalo se, že někteří studenti množství látek nebrali vůbec v potaz, nebo ho vynechávali u látek bez stechiometrického koeficientu. Je možné usuzovat, že pro ně není informace ohledně množství reagujících látek podstatná.

Rovněž se ukázala nejednotnost ve využívání pojmů pro označování množství výchozích látek a produktů, a to jak mezi respondenty, tak v rámci odpovědí na jednotlivé úlohy. Více než polovina respondentů změnila v průběhu pretestu svůj způsob uvádění množství.

Součástí dvou úloh ET pretestu bylo vyčíslování rovnice. Pět studentů rovnici neuvedlo vyčíslenou při řešení jedné z těchto úloh, jeden student ji nevyčísloval ani v jedné z nich. Zároveň po dvou studentech v obou úlohách rovnici vyčíslovali nesprávně.

Ve výsledcích úlohy zaměřené na práci se všemi třemi typy reprezentací při popisu chemické reakce bylo zaznamenáno, že se studenti orientovali ve všech případech na symbolickou úroveň reprezentace, zatímco sub-mikro úroveň téměř nebyla fixována. Obrázky na úrovni makro byly fixovány zejména v případě, že byla tato úroveň zahrnuta do odpovědi.

V poslední úloze bylo sledováno, zda respondenti dokáží využít diagram obsahující sub-mikro reprezentace, a na základě něj uvést chemickou rovnici. V tomto případě byla sub-mikro reprezentace nápomocná k řešení všem respondenty. Nejúspěšnější byly respondenti právě v této úloze.

4.2 Úspěšnost ve vyčíslování chemických rovnic

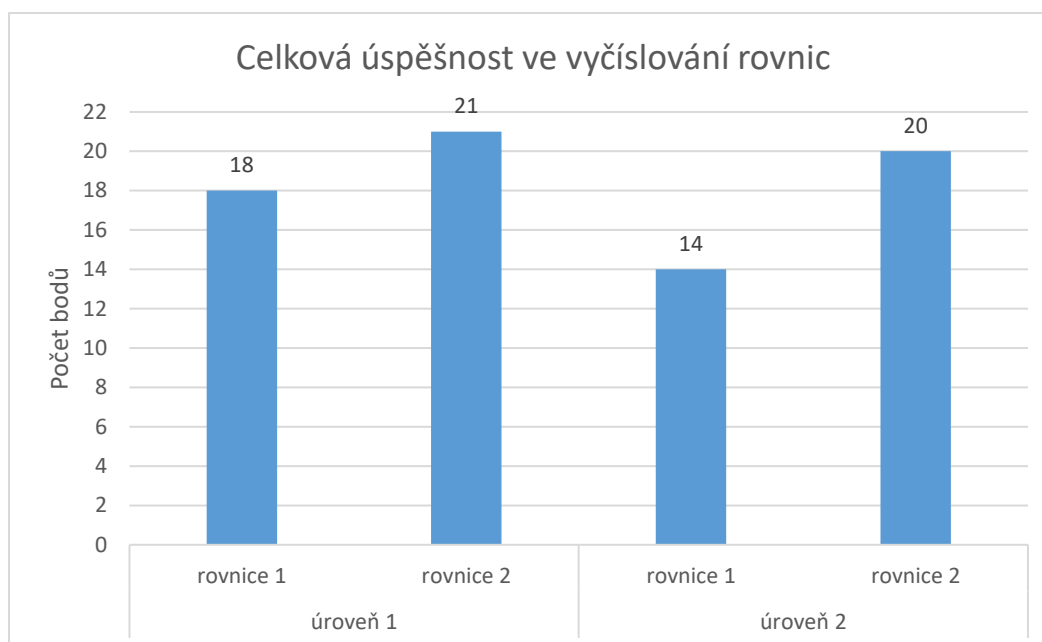
Maximální počet bodů, které bylo možné za vyčíslování rovnic získat, byl 8. Úspěšnost respondentů se pohybovala mezi 4 až 8 body. V Tabulce 6 je možné porovnat úspěšnost studentů u jednotlivých rovnic a jejich celkovou úspěšnost ve vyčíslování. Studenti jsou v tabulce řazeni dle úspěšnosti ve vyčíslování.

Tabulka 6 Porovnání úspěšnosti studentů ve vyčíslování jednotlivých rovnic

	úroveň 2		úroveň 3		celkový počet bodů	celková úspěšnost (%)
	rovnice 1	rovnice 2	rovnice 1	rovnice 2		
Studentka 1	2	2	2	2	8	100
Studentka 2	2	2	2	2	8	100
Student 3	2	2	2	2	8	100
Studentka 6	2	2	2	2	8	100
Studentka 10	2	2	2	2	8	100
Studentka 7	2	2	1	2	7	87,5
Studentka 4	2	1	1	2	6	75
Studentka 5	2	2	0	2	6	75
Studentka 9	1	2	0	2	5	62,5
Studentka 11	1	2	0	2	5	62,5
Student 8	0	2	2	0	4	50

Jak je možné vidět na datech v tabulce, pět studentů vyčíslovalo všechny rovnice na první pokus a získali tak plný počet bodů. Tři z nich patřili do kategorie úspěšných řešitelů dle písemného pretestu. Všechny rovnice vyčíslovaly rovněž dvě další studentky, ale musely dvě, respektive jednu rovnici vyčíslovat napodruhé. V kategorii částečně úspěšných a neúspěšných řešitelů bylo vždy po dvou studentech, kteří minimálně jednu rovnici vůbec nezvládli vyčíslit. Výsledek částečně úspěšných řešitelů ve vyčíslování byl vyšší než neúspěšných. Zároveň nejnižší výsledek byl dosažen studentem 8, který byl jedním z částečně úspěšných řešitelů.

Graf 1 zobrazuje porovnání celkové úspěšnosti v jednotlivých úlohách.



Graf 1 Porovnání celkové úspěšnosti v jednotlivých rovnicích

Celkově byli studenti – dle očekávání – úspěšnější při vyčíslování rovnic na úrovni 2 než na úrovni 3. Bodový rozdíl mezi úrovní 2 a 3 byl 5 bodů. To potvrzuje vyšší náročnost rovnic na úrovni 3 než na úrovni 2. Celkově je ale možné konstatovat, že více než polovina respondentů nedosahuje úrovně vyčíslování požadovanou pro středoškolácích, kterou nastavují na tomto stupni nejvíce využívané učebnice. Rovnice, které studenti vyčíslovali v rámci úrovně 3 v appletu (viz 4.6 *Konkrétní typy rovnic – čas a úspěšnost jejich vyčíslování*) jsou jednodušší než rovnice nacházející se ve středoškolských učebnicích (viz Mareček & Honza, 2005; Vacík a kol., 1995; Vacík a kol., 1999).

U úrovně 2 i 3 platí, že první rovnice dané úrovně měla nižší úspěšnost než druhá rovnice stejné úrovně. V případě úrovně 2 všichni respondenti druhou rovnicí dokázali vyčíslit (jednou byla rovnice vyčíslena až při opravném pokusu). Druhou rovnicí na úrovni 3 nevyřešil pouze jeden respondent, a to student 8. V případě studenta 8 nebylo nutné v rámci první rovnice úrovně 3 využívat vyšší hodnoty koeficientů než 3, což je v rámci této úrovně výjimkou. Zařazení dané rovnice do úrovně 3 je tedy s otázkou. U druhé rovnice, ve které selhal, již bylo nutné vyšší hodnoty koeficientů využít. Student 8 se tedy s nimi poprvé setkal až v rámci druhé rovnice na rozdíl od zbylých respondentů. Více bude o typu této rovnice a problematičnosti jejího zařazení zmíněno v podkapitole 4.5 *Počet sakád při vyčíslování chemických rovnic* a 4.7.8 *Student 8* dále.

Studenti se dokázali v rámci úrovně ve vyčíslování zlepšit. Výjimkou jsou pouze dva studenti, kteří měli horší výsledek u druhé rovnice dané úrovně než u první rovnice. Je nutné

brát v úvahu, že rovnice, které studenti vyčíslovali, nebyly stejné. Roli tedy může hrát i konkrétní rovnice. Ovšem zařazení do dané úrovně odpovídalo počtu reagujících látek a hodnotě stechiometrických koeficientů, tudíž při vyčíslování šlo o stejný počet i kvalitu vyžadovaných myšlenkových operací. Obecně lze konstatovat, že studenti během řešení první rovnice přicházeli na princip vyčíslování rovnice na dané úrovni, u druhé rovnice o stejné obtížnosti se mohli lépe vyvarovat chybám.

4.3 Porovnání celkové úspěšnosti ve vyčíslování s úspěšností v pretestech

Jak bylo naznačeno výše, porovnání souvislosti mezi výsledky v pretestech a ve vyčíslování rovnic může přinést informaci, zda má znalost základních chemických konceptů a schopnost pracovat s reprezentacemi vliv na vyčíslování chemických rovnic. Data jsou porovnána v Tabulce 7 níže. V tomto případě jsou respondenti seřazeni sestupně dle výsledku ve vyčíslování. Z písemného pretestu jsou zde i samostatně uvedeny výsledky ve vybraných položkách 6, 14-16 zaměřených na porozumění sub-mikro reprezentacím.

Tabulka 7 Porovnání úspěšnosti studentu v jednotlivých částech výzkumu

	počet bodů v písemném pretestu	úspěšnost v písemném pretestu (%)	položka 6	položka 14-16	počet bodů za vybrané položky	počet bodů v ET pretestu	úspěšnost v ET pretestu (%)	počet bodů za vyčíslování rovnic	úspěšnost ve vyčíslování rovnic (%)
Studentka 1	15	93,8	1	3	4	7	87,5	8	100
Studentka 2	15	93,8	1	3	4	3	37,5	8	100
Student 3	14	87,5	1	3	4	7	87,5	8	100
Studentka 6	12	75	0	2	2	3	37,5	8	100
Studentka 10	8	50	0	2	2	6	75	8	100
Studentka 7	12	75	1	2	3	2	25	7	87,5
Studentka 4	14	87,5	0	3	3	7	87,5	6	75
Studentka 5	13	81,3	0	3	3	4	50	6	75
Studentka 9	9	56,3	0	2	2	6	75	5	62,5
Studentka 11	7	43,8	0	0	0	3	37,5	5	62,5
Student 8	12	75	1	3	4	1	12,5	4	50

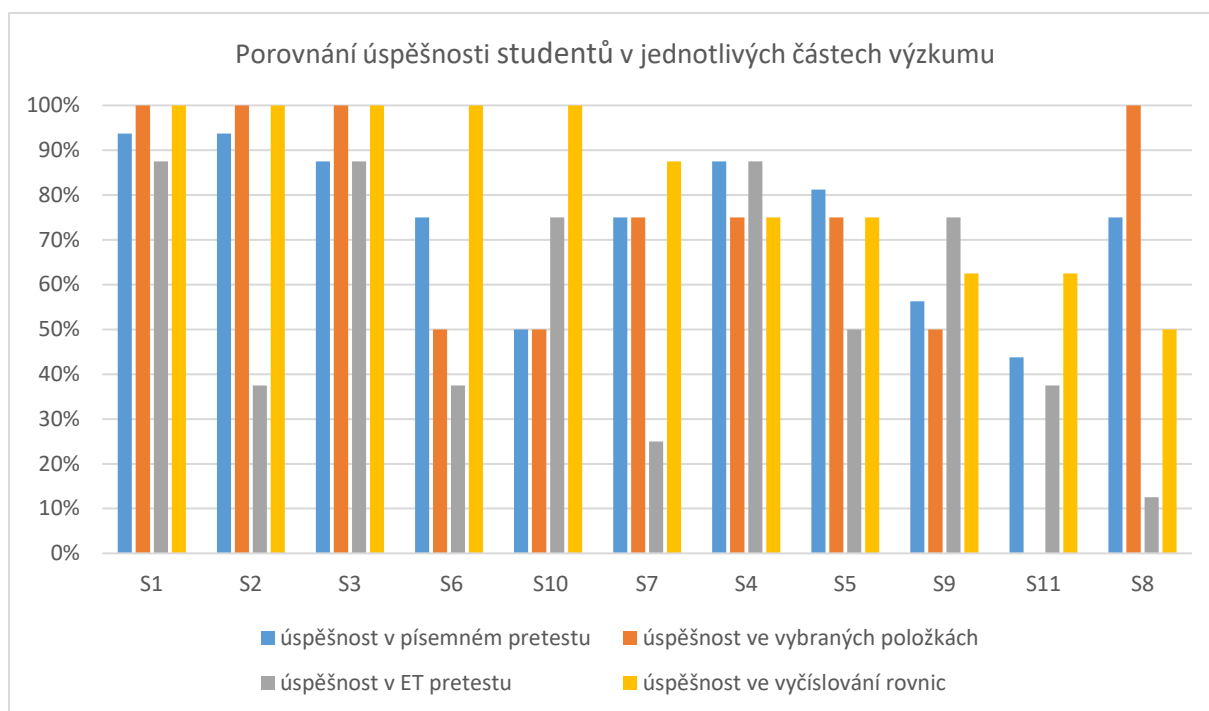
Při porovnání výsledků u respondentů se získáním plného počtu bodů ve vyčíslování rovnic vyplývá, že tři z těchto pěti respondentů byli minimálně v jedné části neúspěšní. Naopak studentka 1 a student 3 vykazovali stále velmi vysoké výsledky. Tito studenti mají dobré znalosti základních chemických konceptů, dokáží pracovat s reprezentacemi a vyčíslovat chemické rovnice. Lze předpokládat, že tématu chemických rovnic rozumí do hloubky.

Studentka 2 byla úspěšná ve všech částech až na eye-trackingový pretest. Zatímco v písemném pretestu ve vybraných položkách obsahujících sub-mikro reprezentace nepochybila, v eye-trackingovém pretestu získala pouze 3 body. V think-aloud a rozhovoru se ovšem ukázalo, že vybraným reprezentacím rozumí, pouze je nezmínila v odpovědi (viz Hamerská, 2023). Zbylé dvě studentky sice nedokázaly správně zodpovědět otázku 6, ale získaly plný počet bodů za vyčíslování rovnic. Zde je vidět rozdíl v porozumění konceptu chemických rovnic oproti pouhému algebraickému vyčíslení rovnice. U studentky 6 je dle výsledků možné rovněž sledovat neporozumění chemickým reprezentacím, jak ukázaly výsledky v obou pretestech. Mezi respondenty se ziskem plného počtu bodů za vyčíslování rovnic patřili tři úspěšní, jeden částečně úspěšný a jeden neúspěšný řešitel. Další studenti již nedosáhli 100% úspěšnosti ve vyčíslování rovnic.

Tři studentky za vyčíslování ztratily 1 až 2 body. Dvě z nich vyčíslili všechny rovnice s využitím opravných pokusů u jedné nebo dvou rovnic. Třetí studentka jednu rovnici vyčíslit nezvládla. Přestože jsou výsledky těchto tří studentek ve vyčíslování a písemném pretestu obdobné, velmi se u nich liší úspěšnost v eye-trackingovém pretestu. To samé bylo možné zaznamenat u dalších dvou studentek s nízkou úspěšností ve vyčíslování (62,5 %).

Student 8 zvládl vyčíslit úspěšně pouze polovinu rovnic. Tento student měl rovněž nejnižší počet bodů v eye-trackingovém pretestu. Naopak vybrané položky písemného pretestu měl jako jeden z mála všechny správně. To poukazuje na porozumění chemickým konceptům s výběrem odpovědi, ale otevřené úlohy zaměřené na práci reprezentacemi a chemické rovnice a jejich vyčíslování nepatří mezi studentovy silné stránky. V tomto případě lze vidět souvislost mezi nízkým počtem bodů v eye-trackingovém pretestu a ve vyčíslování rovnic.

Graf 2 na následující stránce shrnuje porovnání úspěšnosti respondentů ve vybraných částech výzkumu. Studenti jsou seřazeni sestupně dle výsledku ve vyčíslování chemických rovnic.



Graf 2 Porovnání úspěšnosti studentů v jednotlivých částech výzkumu

Na základě dat v Grafu 2 je možné vidět, že pět studentů z 11 mělo vyrovnané výsledky ve všech částech výzkumu. Tři respondenti dosáhli vysokých výsledků. Lze konstatovat, že tyto studenti velmi dobře rozumí konceptu chemických rovnic a s tím souvisejícími koncepty. Ve všech třech případech se jednalo o studenty, kteří patřili mezi úspěšné řešitele písemného pretestu. Naopak dva respondenti prokázali, že mají obtíže v těchto oblastech a jejich úspěšnost ve vyčíslování patří k nejnižším. Oba dva patřili do kategorie neúspěšných řešitelů dle písemného pretestu. Výsledky těchto studentů mohou naznačovat, že porozumění základním chemickým konceptům, schopnost řešit úlohy zaměřené na chemické rovnice a schopnost pracovat s reprezentacemi chemické reakce vedou k úspěšnosti ve vyčíslování.

Na druhou stranu dva studenti, kteří v pretestech nedosáhli vysokých výsledků, dokázali bezchybně vyčíslit všechny rovnice. Tento nepoměr úspěšnosti v jednotlivých částech nasvědčuje tomu, že pro správné vyčíslení chemické rovnice není nutné rozumět jejich chemické podstatě. Totéž potvrzují i Nurrenbern a Pickering (1987), kteří uvádí, že schopnost vyčíslit rovnice nepodmiňuje jejich konceptuální porozumění.

U zbylých čtyř respondentů výsledky kolísaly v jednotlivých částech výzkumu. Proto u nich nebylo možné najít souvislost mezi úspěšností v pretestech a úspěšností ve vyčíslování rovnic. Tito respondenti dle písemného pretestu patřili do všech tří kategorií úspěšnosti.

Zjištěné výsledky neumožňují závěr, že by úspěšnost v pretestech úzce souvisela s úspěšností ve vyčíslování chemických rovnic. Vzhledem k tomu, že pretest zjišťoval porozumění

konceptům souvisejícím s chemickou reakcí, výsledky ukazují, že chemická rovnice jako koncept není studenty pochopen. Při porovnání výsledků všech částí výzkumu u jednotlivých respondentů lze usuzovat, že se v případě vyčíslování rovnic jedná o jednu z mechanických procedur, které se naučí řešit bez ohledu na jejich význam a vztah k oboru.

4.4 Doba řešení chemických rovnic

Dalším faktorem, který se ukázal jako významný faktor, je doba potřebná pro vyčíslení rovnic. Údaje o čase řešení rovnic na jednotlivých úrovních každým z respondentů jsou zobrazeny v Tabulce 8 níže. Každý student řešil dvě rovnice na jedné úrovni obtížnosti. Je možné porovnat celkové časy řešení, časy mezi jednotlivými úrovněmi, ale i mezi rovnicí 1 a rovnicí 2 na stejné úrovni. Studenti jsou řazeni sestupně dle úspěšnosti ve vyčíslování rovnic.

Tabulka 8 Porovnání celkové doby řešení jednotlivých rovnic

	úvod		úroveň 2		úroveň 3		celkem	
	úvod 1	úvod 2	rovnice 1	rovnice 2	rovnice 1	rovnice 2		
	čas	čas	čas	čas	čas	čas	čas	Body
Studentka 1	0:34	0:45	0:59	0:34	3:13	1:38	7:43	8
Studentka 2	0:22	0:23	0:33	0:28	2:51	1:48	6:25	8
Student 3	0:35	0:35	0:33	0:18	8:05	2:14	12:20	8
Studentka 6	0:26	0:34	0:59	0:51	1:40	4:57	9:27	8
Studentka 10	0:31	0:32	0:45	0:42	1:21	1:02	4:53	8
Studentka 7	0:21	0:31	0:23	0:33	3:09	1:35	6:32	7
Studentka 4	0:25	0:32	0:58	1:52	8:13	0:55	12:55	6
Studentka 5	0:27	0:21	0:35	0:26	6:11	4:10	12:10	6
Studentka 9	0:17	0:37	1:57	1:01	4:44	2:49	11:25	5
Studentka 11	0:36	0:26	0:29	0:24	2:39	1:04	5:38	5
Student 8	0:28	0:25	1:11	0:46	0:43	1:55	5:28	4
průměr	0:27	0:31	0:50	0:42	3:51	2:12		
celkový průměr	0:29		0:47		3:02		8:37	

Celkový průměrný čas vyčíslování rovnic byl 8 minut 37 vteřin. Čtyři studenti strávili vyčíslováním rovnic déle než 10 minut. Jednalo se o dva úspěšné řešitele písemného pretestu, jednoho částečně úspěšného a jednoho neúspěšného. U dvou studentů byl zjištěn dvojnásobný čas na úrovni 2 oproti průměru. Naopak u dalších dvou byl čas na této úrovni pod průměrem. Tito dva studenti mají ale o více než 2 minuty delší čas na úrovni 3 než průměr. Vyčíslení rovnic na úrovni 3 již pro ně představovalo problém. Naopak nejrychlejší celková doba vyčíslování rovnic byla pod 5 minut. Čas okolo 5 minut a 30 vteřin měli dále dva studenti. U dvou z těchto

tří studentů bylo možné zaznamenat, že zvládli vyčíslit rovnice na úrovni 3 za téměř třikrát kratší dobu, než byl průměr. Jeden z nich byl ve vyčíslování 100 % úspěšný, přestože jeho čas byl velmi krátký. Naopak zbylí dva studenti patřili mezi nejméně úspěšné.

Dle dat z Tabulky 8 je dále možné usuzovat, že spolu se zvyšující se úrovní rovnice rostl i čas, který respondenti potřebovali k jejímu vyčíslení. Nejkratší dobu potřebovali pro vyčíslení úvodních rovnic s využitím pomocných vah. Doba potřebná pro vyčíslení těchto rovnic se pohybovala okolo 30 sekund. V případě úrovně 2 respondenti strávili vyčíslováním rovnic kolem třičtvrtě minuty. Vyčíslení rovnic na úrovni 3 zabralo většině studentů znatelně více času. Jednalo se průměrně o 3 minuty, tedy více než trojnásobný čas oproti předchozí úrovni. Při porovnávání času je nutné vzít v potaz, že vyčíslené rovnice v úvodní části nebylo nutné potvrdit a ukončily se samy, jakmile byl nastaven správný poměr reaktantů. I pokud by si respondent ještě nemyslel, že je rovnice vyčíslená, applet sám vyčíslování ukončil. To je rozdíl oproti rovnicím v hlavní části na úrovni 2 a 3, kde bylo nutné konečný stav potvrdit k vyhodnocení.

Dalším trendem, který je možné v datech pozorovat je, že průměrný čas řešení první rovnice určité úrovně byl delší než doba strávená řešením druhého příklad v dané úrovni. Opakuje se zde stejný jev jako s úspěšností, který byl popsán výše. U času jsou rozdíly ale ještě více patrné. Ke snížení času v rámci jedné úrovně došlo téměř ve všech případech. Zvýšení času je možné pozorovat ve čtyřech případech. Na tyto časy mohlo mít vliv více faktorů. Jedním z nich je typ rovnice, kterou respondenti vyčíslovali jako první a kterou jako druhou. Některé mohly být více problematické než jiné, přestože se nachází na stejné úrovni obtížnosti. Přehled konkrétních řešených rovnic bude uveden dále v podkapitole *4.6 Konkrétní typy rovnic – čas a úspěšnost jejich vyčíslování*. Dalším ovlivňujícím faktorem mohla být také úspěšnost ve vyčíslování rovnice. V Tabulce 8 výše jsou uvedené pouze celkové časy řešení konkrétní rovnice. V případě, že student získal za danou rovnici 1 nebo 0 bodů, jedná se o čas prvního pokusu s časem opravy. Tento čas tak nemusí být z určitého pohledu srovnatelný s časem těch, kteří vyčíslili rovnici hned napoprvé.

Jak již bylo zmíněno, verzi vyčíslení rovnice na úrovni 2 a 3 museli studenti sami potvrdit, aby došlo k jejímu vyhodnocení. Lze se tedy blíže zaměřit na srovnání časů, kdy studenti napoprvé považovali jimi uvedený poměr výchozích látek a produktů za finální. Pokud byl odečten čas prvního pokusu od celkového času řešení rovnice, pak byl získán čas využitý pro opravu nesprávně vyčíslené rovnice. Tato data jsou uvedena v Tabulce 9.

Tabulka 9 Porovnání doby řešení rovnice při prvním vyhodnocení a doby opravných pokusů

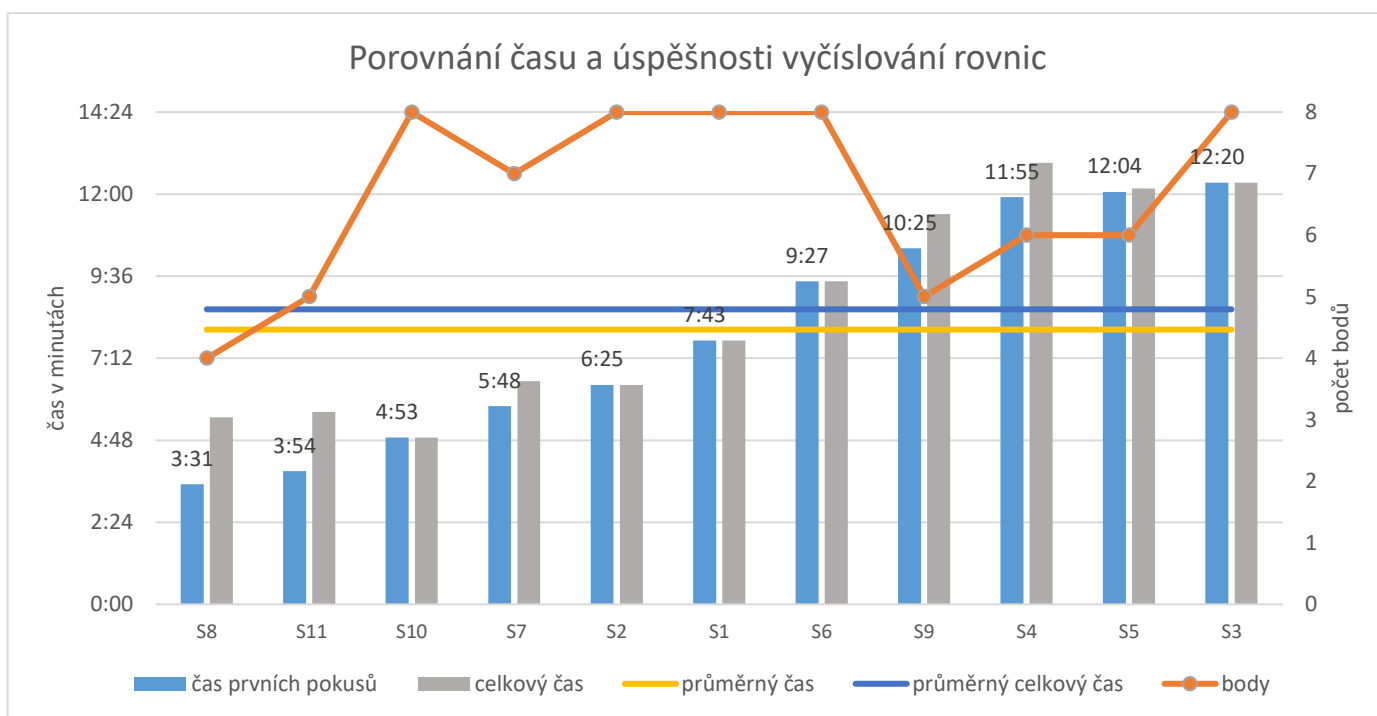
	úroveň 2						úroveň 3						celkem		
	rovnice 1			rovnice 2			rovnice 1			rovnice 2					
	čas 1	oprava	body	čas 1	oprava	body	čas 1	oprava	body	čas 1	oprava	body	součet časů 1	celkový čas	body
Studentka 1	0:59		2	0:34		2	3:13		2	1:38		2	7:43	7:43	8
Studentka 2	0:33		2	0:28		2	2:51		2	1:48		2	6:25	6:25	8
Student 3	0:33		2	0:18		2	8:05		2	2:14		2	12:20	12:20	8
Studentka 6	0:59		2	0:51		2	1:40		2	4:57		2	9:27	9:27	8
Studentka 10	0:45		2	0:42		2	1:21		2	1:02		2	4:53	4:53	8
Studentka 7	0:23		2	0:33		2	2:25	0:44	1	1:35		2	5:48	6:32	7
Studentka 4	0:58		2	1:25	0:27	1	7:40	0:33	1	0:55		2	11:55	12:55	6
Studentka 5	0:35		2	0:26		2	6:05	vzdala	0	4:10		2	12:04	12:10	6
Studentka 9	0:57	1:00	1	1:01		2	4:44	nedokončeno	0	2:49		2	10:25	11:25	5
Studentka 11	0:17	0:12	1	0:24		2	1:07	1:32	0	1:04		2	3:54	5:38	5
Student 8	0:17	0:54	0	0:46		2	0:43		2	0:52	1:03	0	3:31	5:28	4
průměrný čas	0:39			0:40			3:37			2:05			8:02	8:37	
průměrný celkový čas	0:50			0:42			3:51			2:12					

Celkový průměrný čas a průměrný čas prvních pokusů se liší o 35 vteřin. Je možné říci, že tento čas odpovídá průměrnému času nutného na opravy vyčíslování. Rozdíly průměrného času pro jednotlivé rovnice jsou v řádu několika vteřin. Nejmenší rozdíl je patrný u rovnice 2 na úrovni 2.

Při rozlišení času věnovaného prvnímu pokusu o vyčíslení a času věnovaného opravě je možné lépe porozumět přístupu studentů. Chybné pokusy se v případě studentů 8 a 11 dostaly výrazně pod průměrný čas řešení prvního pokusu. Jejich nízký celkový výsledek je tak možné přičítat právě tomu. Časy oprav v případě tří respondentů u čtyř rovnic byly poměrně krátké vzhledem k časům prvního pokusu. Jednalo se tak pouze o drobnou úpravu a nebylo třeba vyčíslovat celou rovnici znovu. Čas dalších oprav byl přibližně stejně dlouhý nebo delší než samotný první pokus. Tento údaj naznačuje, že se i během opravného pokusu snažili studenti rovnic vyčísřit. Přesto jsou tyto delší opravné pokusy neúspěšné, až na první rovnici úrovně 2 u studentky 9. Studenti si s těmito rovnicemi nedokázali poradit.

Porovnání celkového času, který studenti potřebovali k vyčíslení všech šesti rovnic, a celkového času bez oprav s ohledem na celkovou úspěšnost je přehledně shrnuto v Grafu 3. Sloupce nacházející se nad modrou a žlutou spojnicí představují nadprůměrnou hodnotu času.

Na oranžové spojnici je vyznačeno, kolik jednotliví studenti získali bodů. Studenti jsou seřazeni vzestupně dle jejich celkového času řešení rovnic bez oprav.



Graf 3 Porovnání celkové doby řešení rovnic a úspěšnosti v jejich vyčíslování

Celkový čas většiny studentů se 100% úspěšností se nachází pod průměrnou hodnotou. Výjimkou je student 3 a nepatrně nad průměrem času se nachází rovněž student 6. Trend v délce řešení zde nesleduje hodnoty zjištěné např. Tóthovou a Ruskem (2022), jelikož v tomto případě se nejednalo o úlohy jako takové.

Nejrychlejší byla ve vyčíslování studentka 10, která patřila mezi respondenty s maximálním počtem bodů. Ovšem po odečtení času oprav a porovnání pouze času prvních pokusů se časem tato studentka umístila až jako třetí. Výrazně delšího času oproti průměru dosáhli čtyři studenti. Tři z těchto čtyř studentů, museli některé rovnice opravovat nebo je vůbec nezvládli vyčíslit. Jejich celkový počet bodů odpovídal 6 nebo 5 bodům. Výjimkou mezi nimi je student 3, který dokázal vyčíslit všechny rovnice napoprvé a patří k respondentům se 100% úspěšností ve vyčíslování. Jeho celkový čas vyčíslování je nejdelší při porovnání s časem prvních pokusů, případně druhý nejdelší, pokud se porovnává čas včetně oprav.

Z grafu je vidět jasný trend souvislosti úspěšnosti vyčíslování s časem řešením, pokud se porovnávají časy prvních pokusů, kdy všichni respondenti považovali poměr reagujících látek za finální. Studenti úspěšní ve vyčíslování se nachází ve středové části. Jejich čas byl nižší než průměr nebo v případě studentky 6 byl lehce nadprůměrný. Výjimkou mezi

100% úspěšnými byl pouze student 3, jehož čas byl o polovinu delší než průměrný čas. Nejméně úspěšní řešitelé měli nejkratší čas vyčíslování. Nebo naopak méně úspěšní řešitelé vyčíslovali rovnice příliš dlouho. To by napovídalo tomu, že neměli jasně stanovený postup, který by vedl k vyčíslení ve správném poměru, nebo nedokázali sami ověřit, že byl jejich vyčíslený poměr nesprávný.

4.5 Počet sakád při vyčíslování chemických rovnic

Počet sakád představuje počet přechodů, které museli respondenti udělat při vyčíslování. Porovnány jsou pouze sakády v rámci symbolického zápisu, tedy v oblasti chemické rovnice. Přechody mezi symbolickou a sub-mikro úrovní nebyly zahrnuty, jelikož studenti vyčíslovali chemické rovnice pouze na základě symbolické úrovně. Pokud byla sub-mikro oblast fixována, studenti ji nedokázali účelně využít k řešení, jak bude popsáno dále v analýze postupů. V Tabulce 10 na následující stránce je možné sledovat rozdílný počet sakád u rovnic na odlišné úrovni obtížnosti, ale i rozdílný počet sakád mezi jednotlivými respondenty. Počet sakád je zároveň rozdělen na sakády prvního pokusu (v tabulce jako sakády 1) a sakády potřebné k opravnému pokusu (v tabulce pod označením oprava). Tyto metriky byly vztaženy k úspěšnosti ve vyčíslování. Studenti jsou v tabulce seřazeni dle jejich úspěšnosti ve vyčíslování.

Počet sakád zahrnuje přechody potřebné k vyčíslení rovnice, ale zároveň i přechody, které respondent provedl při kontrole v průběhu nebo při kontrole závěrečné, pokud proběhly. Při porovnávání hodnot je nutné uvažovat vliv těchto sakád na celkový počet u některých studentů, ale zároveň i absenci těchto kroků u jiných studentů. Jedná se o aspekt, který se u jednotlivých respondentů lišil, a proto nemusí být porovnání zcela srovnatelné.

Jako sakády vedoucí ke správnému řešení jsou započítány sakády v těch případech, kdy respondent obdržel za vyčíslení rovnice 2 body. Sakády vedoucí k nesprávnému výsledku zahrnují jak všechny nesprávné první pokusy, tak všechny nesprávné opravné pokusy.

Tabulka 10 Porovnání počtu sakád potřebných k vyčíslení jednotlivých rovnic během prvního a při opravném pokusu

	úroveň 2						úroveň 3						celkem		
	rovnice 1			rovnice 2			rovnice 1			rovnice 2					
	sakády 1	oprava	body	sakády 1	oprava	body	sakády 1	oprava	body	sakády 1	oprava	Body	součet sakád	celkový čas	body
Studentka 1	114		2	82		2	401		2	227		2	824	7:43	8
Studentka 2	78		2	69		2	305		2	178		2	630	6:25	8
Student 3	70		2	42		2	942		2	272		2	1326	12:20	8
Studentka 6	159		2	138		2	236		2	742		2	1275	9:27	8
Studentka 10	128		2	117		2	188		2	143		2	576	4:53	8
Studentka 7	71		2	100		2	307	65	1	227		2	770	6:32	7
Studentka 4	160		2	253	66	1	1311	83	1	139		2	2012	12:55	6
Studentka 5	95		2	60		2	808	vzdala	0	523		2	1486	12:10	6
Studentka 9	148	137	1	157		2	520	nedokončeno	0	384		2	1346	11:25	5
Studentka 11	44	32	1	61		2	191	214	0	171		2	713	5:38	5
Student 8	27	71	0	96		2	95		2	99	60	0	448	5:28	4
průměrný počet sakád vedoucí ke správnému vyčíslení rovnice	109			92			361			301			1037	8:37	
průměrný počet sakád vedoucí k nesprávnému vyčíslení rovnice	73			253			559			80					

Z údajů v tabulce lze zaznamenat souvislost počtu sakád a celkové času potřebného k vyčíslování rovnic. Čím déle byla rovnice řešena, tím vyšší počet přechodů respondent vykonal. Je nutné brát v úvahu nezapočítání počtu přechodů v souvislosti se sub-mikro oblastí, proto mohou být některé hodnoty poměrově odlišné.

Tabulka ukazuje, jaký je potřebný počet přechodů k vyčíslení rovnice na určité úrovni. Pro rovnice na úrovni 2 se jedná průměrně o 101 přechodů. U rovnic úrovně 3 je to okolo 330 sakád. To rovněž potvrzuje pochybnost ohledně zařazení rovnice $2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{O}_2$ do této úrovně, jelikož počet přechodů potřebný ke správnému vyčíslení dané rovnice odpovídá u studenta 8 průměrnému počtu přechodů u rovnic úrovně 2. Totožnou rovnicí řešily také dvě další studentky. U studentky 2 je počet sakád při řešení této rovnice vyšší než průměrný. U studentky 7 je počet přechodů sice taktéž nižší než průměr jako u studenta 8, nejedná se ovšem o nejnižší počet sakád potřebný k vyčíslení druhé rovnice na úrovni 3.

Zároveň se i v porovnání těchto hodnot potvrzuje pravidlo, že studenti při vyčíslování prvních rovnic na obou úrovních získali zkušenosti, které uplatnili při postupu u druhé rovnice. To je možné usuzovat ze snížení počtu sakád mezi rovnicí 1 a rovnicí 2.

Počet sakád vedoucí k nesprávnému řešení je možné rozdělit na dvě kategorie. První kategorii představují ty postupy, při nichž nebyl proveden dostatečný počet přechodů, aby byla rovnice správně vyčíslena. Jedná se o ty respondenty s nesprávným výsledkem, jejichž počet přechodů je významně nižší než průměrný počet přechodů potřebný k vyčíslení rovnic dané úrovně. To je možné zaznamenat ve dvou případech u rovnic na úrovni 2 a rovněž u dvou respondentů na úrovni 3.

Jako druhou kategorii lze označit postupy, kdy je počet přechodů vedoucí k nesprávnému řešení významně vyšší než průměrný počet přechodů vedoucí ke správnému výsledku. V těchto případech studenti nedokázali přijít na způsob nebo princip, jakým rovnicí vyčíslit, přestože je u nich patrná snaha hledat správný poměr výchozích látek a produktů. U rovnic na úrovni 2 se jedná o dva takové případy. U rovnic na úrovni 3 jsou to tři případy. Významně delší než průměrný čas měli i někteří řešitelé, jejichž postup byl nakonec úspěšný a přišli na princip, jakým rovnicí dané úrovně vyčíslit.

Studentku 7 nelze na základě počtu sakád u rovnice 1 úrovně 3 zařadit ani do jedné z uvedených kategorií, jelikož se její počet přechodů neodlišuje od průměru. V jejím postupu se jednalo o chybu ve výpočtu, která se projevila u jednoho nesprávného stechiometrického koeficientu.

Počet sakád ukazuje, zda respondent dokázal vyčíslit rovnici snadno, nebo zda musel nad způsobem jejího vyřešení déle přemýšlet. U chybných pokusů lze zároveň sledovat, zda byl počet přechodů dostatečný k vyčíslení dané rovnice, nebo zda rovnice nebyla vyčíslena z důvodu, že si s ní respondent nedokázal poradit.

Sakády a jejich počet jsou sledovanými metrikami v rámci eye-trackingových studií. Autoři výzkumu sledujícího rozdíl v postupu účastníků s odlišnými odbornými znalostmi v různých přírodovědných disciplínách při řešení problémových úloh s přírodovědným zaměřením zjistili, že odborníci v daném předmětu dosahují nižšího počtu přechodů než v úlohách se zaměřením na odlišný předmět (Tai a kol., 2006). Taktéž ve studii zaměřené na schopnost čtení z mapy se ukázalo, že počet sakád je nižší u expertů než u začátečníků (Dong a kol., 2018). Naopak výsledky jiných výzkumů uvádí, že počet sakád je vyšší u expertů než u začátečníků (Stolińska a kol., 2014; Zhu a kol., 2022).

4.6 Konkrétní typy rovnic – čas a úspěšnost jejich vyčíslování

V Tabulce 11 na následující stránce jsou uvedeny všechny rovnice, které studenti vyčíslovali včetně doby řešení a úspěšnosti. Vzhledem k tomu, že v prostředí appletu byly chemické rovnice generovány náhodně, nebylo možné, aby všichni studenti vyčíslovali stejné rovnice. Některé rovnice se ovšem u různých respondentů opakovaly. Stejně chemické rovnice v rámci jedné úrovně obtížnosti jsou v tabulce zvýrazněny totožnou barvou. Za stejné rovnice byly považovány i takové rovnice, ve kterých byly výchozími látkami produkty jiné rovnice a produkty byly naopak výchozí látky téže rovnice. S bílým pozadím jsou ty rovnice, které se nevyskytly více než jednou v rámci výzkumu.

Tabulka 11 Přehled rovnic řešených jednotlivými studenty

	L2_rovnice 1			L2_rovnice 2			L3_rovnice 1			L3_rovnice 2		
	rovnice	čas	body	rovnice	čas	body	rovnice	čas	body	rovnice	čas	body
Studentka 1	$\text{SO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:59	2	$\text{CH}_4 + 4 \text{S} \rightarrow \text{CS}_2 + 2 \text{H}_2\text{S}$	0:34	2	$4 \text{NH}_3 + 7 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	3:13	2	$4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_6 + 5 \text{O}_2$	1:38	2
Studentka 2	$2 \text{F}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HF} + 2 \text{OF}_2$	0:33	2	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:28	2	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$	2:51	2	$4 \text{NH}_3 + 6 \text{NO} \rightarrow 5 \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$	1:48	2
Student 3	$\text{CS}_2 + 3 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{SO}_2$	0:33	2	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{H}_2 + \text{CO}$	0:18	2	$4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$	8:05	2	$4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_6 + 5 \text{O}_2$	2:14	2
Studentka 4	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:58	2	$\text{SO}_2 + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$	1:52	1	$4 \text{NO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{NH}_3 + 7 \text{O}_2$	8:13	1	$4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	0:55	2
Studentka 5	$\text{SO}_2 + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:35	2	$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:26	2	$4 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_2 + 5 \text{O}_2$	6:11	0	$4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2$	4:10	2
Studentka 6	$2 \text{C} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$	0:59	2	$\text{CS}_2 + 3 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{SO}_2$	0:51	2	$2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2$	1:40	2	$4 \text{NH}_3 + 6 \text{NO} \rightarrow 5 \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$	4:57	2
Studentka 7	$2 \text{F}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HF} + 2 \text{OF}_2$	0:23	2	$\text{C}_2\text{H}_6 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{HCl}$	0:33	2	$4 \text{NH}_3 + 7 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	3:09	1	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$	1:35	2
Student 8	$\text{SO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$	1:11	0	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:46	2	$2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{O}_2$	0:43	2	$4 \text{NO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{NH}_3 + 7 \text{O}_2$	1:55	0
Studentka 9	$\text{SO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$	1:57	1	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	1:01	2	$4 \text{NH}_3 + 7 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	4:44	0	$4 \text{NH}_3 + 6 \text{NO} \rightarrow 5 \text{N}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$	2:49	2
Studentka 10	$\text{CS}_2 + 3 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{SO}_2$	0:45	2	$2 \text{F}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HF} + 2 \text{OF}_2$	0:42	2	$2 \text{C}_2\text{H}_6 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	1:21	2	$4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	1:02	2
Studentka 11	$\text{SO}_2 + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:29	1	$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	0:24	2	$4 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_6 + 5 \text{O}_2$	2:39	0	$4 \text{NH}_3 + 7 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$	1:04	2

Při porovnávání úspěšnosti a doby řešení stejných rovnic mezi jednotlivými respondenty je nutné brát také v potaz, zda student vyčíslil danou rovnici jako první, nebo jak druhou v rámci dané úrovně.

Jako problematickou lze označit na úrovni 2 rovnici $\text{SO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$ a rovnici $\text{SO}_2 + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$. První uvedená rovnice byla ze třech případů jednou vyčíslena správně až na druhý pokus a jednou nebyla vyčíslena správně vůbec. Její čas řešení je ve všech třech případech delší než průměrný čas. U všech respondentů byla tato rovnice jako první v rámci dané úrovně. Druhá zmíněná rovnice byla dvakrát ze třech případů vyčíslena až na druhý pokus. Zároveň u studentky 4, u které byla dokonce až jako druhá rovnice na dané úrovni, byl čas řešení této rovnice nadprůměrný.

V rámci úrovně 3 lze za problematické označit následující rovnice: $4 \text{NH}_3 + 7 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$, $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$. První zmíněná problematická rovnice je z šesti případů pouze dvakrát vyčíslena napoprvé, zato dvakrát vyřešena nesprávně a dvakrát vyčíslena na druhý pokus. Doba řešení překračuje průměrný čas pouze v jednom případě. Naopak v jednom případě je čas vyčíslování významně kratší než průměrný čas. U druhé uvedené rovnice se za problematický aspekt nejeví úspěšnost vyčíslování, ale doba řešení, která je v obou případech minimálně dvojnásobná oproti průměrnému času. Naopak rovnice $2 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2$ se ukazuje v rámci úrovně 3 jako snazší rovnice k vyčíslování. Všichni tři respondenti, kteří měli tuto rovnici vyčíslit, ji vyčíslili za méně než polovinu průměrného času. Přičemž ve všech třech těchto zmíněných rovnic úrovně 3 vystupují tři totožné reaktanty ze čtyř.

Odlišnost rovnic a jejich pořadí u jednotlivých řešitelů zamezuje možnou bližší specifikaci problematičnosti vyčíslování konkrétních chemických rovnic.

4.7 Analýza postupů vyčíslování chemických rovnic

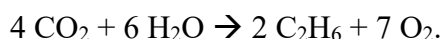
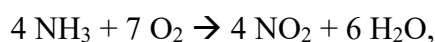
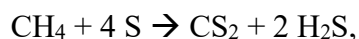
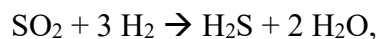
V této části práce jsou podrobněji analyzovány postupy jednotlivých studentů. U každého studenta jsou zmíněné hlavní charakteristiky jeho postupu. Podle úspěšnosti ve vyčíslování lze následně vyvodit, které strategie mohou napomáhat k úspěšnému výsledku při vyčíslování chemických rovnic. A naopak, které strategie se uplatňují nebo jsou postrádány u těch studentů, kteří ve vyčíslování chybovali.

4.7.1 Studentka 1

Studentka 1 vyčíslila všechny rovnice se 100% úspěšností. Celkový čas řešení byl 7 minut 43 vteřin, což byl čas přibližující se průměrnému. Na obou úrovních respondentce zabralo

vyčíslení prvních rovnic přibližně dvojnásobek času oproti druhým rovnicím. Z toho lze vyvodit pochopení principu vyčíslování dané úrovně.

Studentka vyčíslovala tyto rovnice:



Při vyčíslování byla vždy uplatňována jak pravidelná průběžná, tak končená kontrola poměrů atomů všech prvků. Až po závěrečné kontrole studentka nechala rovnici vyhodnotit. Tím došlo k ověřování správnosti výsledku.

Studentka při řešení druhé úvodní rovnice přišla na strategii, kdy jako první krok nastavila před všechny výchozí látky a produkty koeficient 1, a poté až začala vyčíslovat. Tento postup pak uplatnila ve všech dalších rovnicích. Po nastavení koeficientu 1 studentka kontrolovala poměry všech prvků. Následně začala vyčíslovat.

Dále bylo možné pozorovat, že studentka vyčíslovala jednotlivé prvky postupně. Pokud při vyčíslování jednoho prvku změnila již vyčíslený prvek, opětovně se k němu vrátila a poměry upravila tak, aby odpovídaly. Zároveň kontrolovala vliv na poměr více prvků zároveň. Lze usuzovat, že studentka vnímala rovnice jako celek. Rovněž uváděla, že sledovala a uvědomovala si změny v nepoměru v důsledku lichého a sudého počtu atomů.

Jako pravidlo uplatňované při vyčíslování studentka zmínila ponechání vyčíslování atomů vodíku a kyslíku až na konec. Uvedla, že tento postup si osvojila v předchozí výuce chemie:

„No, já už to mám teda jako snad z gymplu určitě, možná i ze základky, že nám prostě říkali nechat ty kyslíky a vodíky až úplně naposledy. Takže nejdříve začít vyčíslovat prostě jinejma atomama, než je kyslík a vodík. Že ty tak jako, nám řekli, že ty jsou takový zlobivý, takže ty až nakonec. Takže jako podle toho postupu mi to zatím jako většinou vychází, no.“

Tento popis odpovídá postupu studentky pouze částečně. Více tomu odpovídá pravidlo, že bylo vyčíslování zakončeno tou látkou, která byla složena pouze z jednoho prvku. Tomu odpovídala právě většinou buď molekula vodíku, nebo kyslíku. Vyčíslovat rovnici začínala od prvku, který byl v nepoměru a vyskytoval se v co nejméně reaktantech, čemuž často odpovídal jiný prvek než vodík nebo kyslík.

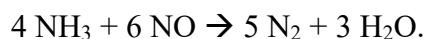
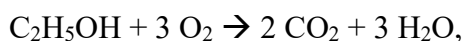
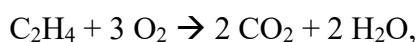
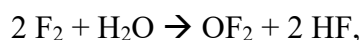
Ani v jednom případě studentka nevyužívala účelně sub-mikro oporu v podobě modelů částic ani v podobě pomocných vah v průběhu vyčíslování pomocí appletu. Uvedla, že za podstatnější považovala samotnou rovnici:

„Že jsem se soustředila na tu rovnici jenom. ...ty kuličky mě nějak nezajímaly. Že mi šlo hlavně o ty čísla.“

4.7.2 Studentka 2

Studentka byla ve vyčíslování všech rovnic úspěšná. Celková délka řešení byla 6 minut 25 vteřin, tedy pod průměrem.

Rovnice řešené touto studentkou byly následující:



Na začátku vyčíslování každé rovnice studentka neprocházela celou rovnicí, ale rovnou porovnávala zastoupení jednotlivých prvků mezi reaktanty. Ve výpovědi uvedla, že hledá tzv. „výjimku“:

„Jako vždycky hledám nějakou tu výjimku, od který se jako půjde dát odpíchnout. Nebo výjimku. To je to moje, že když je tam něco jednou ve výchozích látkách a produktech jenom... A pak vždycky kontroluju vodíky a kyslíky.“

Zmiňovaný postup ovšem neodpovídá reálnému postupu studentky. Ve dvou rovnicích začala studentka vyčíslovat nejprve právě atomy vodíku, přestože se v rovnici nacházel odlišný prvek (uhlík nebo dusík), jehož poměr v počáteční fázi neodpovídal.

Při vyčíslování studentka průběžně kontrolovala poměry jednotlivých atomů. Tato kontrola probíhala ve fázi, kdy ještě nebyla rovnice finálně vyčíslená a zbývalo vyřešit vhodný koeficient u jediného reaktantu, který se skládal z jednoho prvku. Ten vždy vyčíslovala jako poslední. Takto postupovala pouze, byl-li to vodík nebo kyslík. V případě rovnice 1 úrovně 2 se jednalo o molekulu fluoru, kterou vyčíslila hned z počátku.

Z eye-trackingového záznamu bylo možné pozorovat, že studentka při kontrole a vyčíslování zároveň sledovala a kontrolovala více prvků a nezaměřovala se na vyčíslování pouze jednoho prvku.

U rovnice úrovně 3 studentka rychle přišla na to, jakým způsobem bylo potřeba vyřešit nepoměry sudého a zároveň lichého zastoupení určitého prvku. To se projevilo i u doby řešení dané rovnic, který byly kratší než průměrný čas. Tento postup sama popisovala, jak je uvedeno níže:

„Podle mě, nevím, jestli to bylo tady u týchle nebo u tý další, tak jsem všechno dávala dvakrát, aby mi potom vycházelo lichý, aby mi vyšlo sudý.“

Jako problematická se ukázala funkční skupina alkoholů, když byl vodík zastoupen dvakrát ve funkčním vzorci, a tak došlo k opomenutí započtení vodíku v alkoholové skupině. Studentka si ovšem při kontrole chyby z nepozornosti všimla a rovnici opravila.

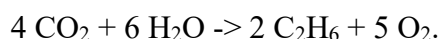
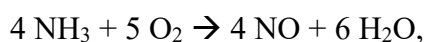
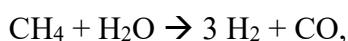
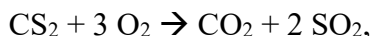
Tato studentka žádným způsobem nevyužila sub-mikro oporu a postupovala pouze na základě rovnice. Sama zmiňuje, že na modely se pouze podívala z důvodu, že se v appletu objevily:

„Jo, že se tam vždycky objevilo. Já jsem se podívala, že to tam je. Hmm, to je ta molekula.“

4.7.3 Student 3

Tento student řešil rovnice nejdéle, a to 12 minut 20 vteřin, pokud by byly porovnávány jen časy prvních pokusů. Dvě třetiny času ovšem zabralo řešení rovnice 1 na úrovni 3. Ostatní časy řešení odpovídaly průměru nebo byly nižší. Jeho úspěšnost ve vyčíslování byla 100 %.

Vyčíslovány byly tyto rovnice:



Od druhé úvodní rovnice začal na začátku vyčíslování vždy jako první doplňovat stechiometrický koeficient 1 před všechny výchozí látky i produkty.

Bylo možné si všimnout rozdílu v postupu tohoto studenta u rovnic na úrovni 2 oproti rovnicím na úrovni 3. Zatímco u méně obtížných rovnic nejprve procházel celou rovnicí, a až poté začal porovnávat poměry atomů jednotlivých prvků, u složitějších rovnic již rovnou porovnával zastoupení atomů. Vyčíslovat vždy začal od toho prvku, který se nacházel jako první v rovnici v nepoměru.

Pro tohoto studenta byla typická kontrola celé rovnice před vyhodnocením, která vždy proběhla.

Jak již bylo zmíněno výše, problematická byla pro studenta první rovnice úrovně 3. Student se nejprve dostal do fáze, ve které už nevěděl, jak dále postupovat, aby byly vyrovnány všechny reaktanty a nevznikal nepoměr sudého a lichého počtu. Rovnici jednou vynuloval a začal postupovat od znovu, jenže jeho postup byl opět totožný. Nakonec přišel na to, že musí zdvojnásobit stechiometrické koeficienty. Jako důvod, proč mu tato rovnice trvala tak dlouho vyčíslit, uvedl, že pro něj bylo nezvyklé využít vyšší hodnoty pro koeficienty:

„Možná je to hloupý říkat, ale zprvu jsem se trochu bál zabíhat do vyšších čísel, takže až vlastně ke konci jsem zvážil dosadit taky nějaké vyšší číslo.“

Velmi dlouhou dobu řešení této rovnice je možné přisuzovat rovněž tomu, že se student pokoušel pracovat s oxidačními čísly:

„Pak jsem dlouho váhal. A pak jsem si zkusil tak nějak si představit, jak by asi vypadaly pomocné nějaké zápisy k tomu. Myšleno tím, oxidace a redukce.“

Tento postup s porovnáním oxidačních čísel již v poslední rovnici nevyužil. Je ovšem nutné si uvědomit, že studenti pracovali pouze v prostředí appletu a nemohli si tak vytvořit pomocný zápis. Porovnání oxidačních čísel tak bylo pouze z hlavy. Mohlo se tedy jednat o důvod, proč nebyla tato strategie řešení dále využita a nevedla k řešení ani v rámci daného příkladu:

„Tady už vlastně jsem si ani nepředstavoval ty pomocný redox reakce. Ale šel jsem čistě po těch počtech těch molekul.“

Čas řešení druhé rovnice na úrovni 3 se sice významně zkrátil. A to i vzhledem k tomu, že měl zkušenost s první rovnicí této úrovně, jak sám uvedl. I tak ale vyčísloval rovnici postupně a nepokoušel se rovnou najít společný násobek.

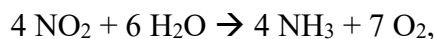
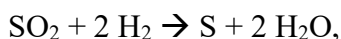
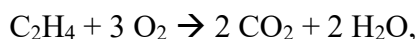
U studenta 3 nedošlo k fixaci modelů reagujících látek. Zaměřoval se pouze na oblast symbolické rovnice. Jediný případ, kdy využil prostředí appletu bylo v úvodní části, kdy fixoval váhy. Sám ale uvádí, že ho váhy spíše mátlly. Oblast s modely molekul vůbec nevyužíval:

„Ty váhy, přiznám se, že teda mi úplně nepomáhaly. Spíš mě to tak jako rozptylovalo. ... Tady už jsem si trochu těch vah všimal. Nejdřív jsem si prohlídl celou reakci. Co vlastně do ní vstupuje, co vystupuje. A pak jsem se dal do vyčíslování.“

4.7.4 Studentka 4

Studentka 4 sice všechny rovnice vyčísčila správně, ale dvakrát až na druhý pokus. Její čas byl 11 minut 55 vteřin pro první pokusy, s opravami byl čas řešení nejdelší (viz Graf 3). Dvě třetiny celkového času ale připadají vyčíslování rovnice 1 úrovně 3.

Studentka řešila tyto rovnice:



Studentka vyčíslila dvě rovnice až napodruhé. V obou případech se jednalo o chyby z nepozornosti. V případě druhé rovnice na úrovni 2 měla rovnici ve správném poměru, který ale nebyl zkrácený a byl dvojnásobný. U první rovnice na úrovni 3 zase opomenula doplnit odpovídající koeficient pro jeden reaktant. Obě nesrovnalosti opravila velmi rychle. Časy jejich opravných pokusů se pohybují okolo půl minuty.

Rovnici ale ne vždy zkontrolovala před vyhodnocením. Jedná se o jediného úspěšného řešitele dle písemného pretestu, který tak nečinil. Zároveň ale ve dvou případech ze tří, kdy tak neudělala, měla rovnici vyčíslenou nesprávně. Poté při opravě si již rovnici před vyhodnocením zkontrolovala. Lze usuzovat, že díky tomu, že kontrola neproběhla, si nevšimla nesrovnalostí v rovnici. Chyby tak nelze přičítat nedostatku oborových znalostí. Pretesty se tak pro tyto studenty ukázaly jako dostatečně rozlišující.

Při setkání s rovnicí ji studentka nikdy neprocházela na začátku celou. U rovnic úrovně 2 nejprve prošla výchozí látky a poté sledovala poměry zastoupení jednotlivých prvků. U rovnic na úrovni 3 již rovnou kontrolovala poměry atomů.

Postup ve vyčíslování této studentky je specifický tím, že studentka začala vyčíslovat jako první prvek, který se nacházel jako první v nepoměru mezi výchozími látkami a produkty, a zároveň byl zastoupen pouze ve dvou reaktantech. Naopak jako poslední doplňovala stechiometrický koeficient před reaktant, který je složen pouze z jednoho prvku. Sama studentka ovšem ve své výpovědi uvedla, že má naučený postup ponechat vyčíslování kyslíku a vodíku až jako poslední. Při sledování záznamu ovšem sama konstatovala, že tak zřejmě nepostupuje:

„Nevim jako, to prostě mám nějak zafixovaný, že prostě vodíky až naposled. Ale když takhle koukám, jak na to koukám, tak možná dělám ty vodíky nějak souběžně. ... Vždycky vodíky, kyslíky většinou. Nevim proč, ale mám zafixováno, že vodík má být úplně ten poslední. Ale jako očividně, když na to takhle koukám, tak je to takový jako dost pade na pade, ty vodíky, kyslíky takhle.“

Zajímavé je srovnání postupu u rovnic na úrovni 3. Vyčíslení první rovnice trvalo studentce osmkrát déle než řešení druhé rovnice. Při řešení této rovnice třikrát celou rovnicí vynulovala a začala od začátku, kdy postupovala víceméně totožně a dostala se tak pokaždé ke stejnému výsledku. Sama svůj postup označila jako nesystematický a nahodilý:

„Ted' koukám tak zmateně, skoro mi přijde, že se snažím nějak dát to do kupy, ale že v tom není žádnéj jako systém víc.“

Správného výsledku dosáhla až v té fázi, kdy zkusila zvýšit koeficient u jednoho z reaktantů na hodnotu 4. Studentka měla totiž rovněž obtíže pracovat s vyššími hodnotami koeficientů. Koeficient 4 ještě považovala za nízký. Díky tomu bylo možné vyčíslit správně zbytek rovnice:

„Já totiž mám taky vlastně, jakože vlastně mám problém to vyčíslit tak, že tam bude něco větší než čtyřka. Že se tam furt snažím napsat nějaký dvojky, trojky maximálně prostě. Ale dát tam nějakou sedmičku, to už mi přijde takový jako moc. Nevim, proč to tak mám. ... Jo, jako je možný, že třeba ve škole vždycky nám dávali ne takový jako, že prostě se tam jako maximálně trojky, čtyřky. A prostě pak, když mi to přišlo hrozně divný dávat tam nějaký vyšší číslo. A jakoby já to i vim, že si vždycky říkám: sedmička? To je hrozně moc. To to asi nebude jako.“

Zatímco u druhé rovnice byl již vidět jasný postup oproti předchozí rovnici, který vychází z předchozí zkušenosti. Studentka ovšem v think-aloud uvedla, že opět se u ní projevila pochybnost, zda je vysoká hodnota koeficientu správně. Ale několikanásobně kratší čas řešení a prvoplánový postup potvrzuje, že po předchozí zkušenosti tento koeficient dosadila snáze:

„Já asi zase, co mi tak přijde, tak když jsem tam jakoby měla dát tu šestku před tu vodu, tak jsem jakoby hodněkrát zkontrolovala. Protože zase tam byla ta šestka. To je vyšší číslo prostě.“

Při vyčíslování jedné rovnice se v určité fázi projevila chyba započtení spodního indexu předcházejícího prvku v molekule, díky čemuž byl po určitou dobu vyčíslen nesprávný poměr. Při další kontrole již byla tato chyba eliminována. Jedná se o problematiku nesprávného porozumění symbolickému zápisu.

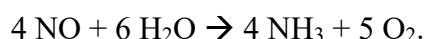
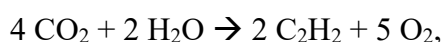
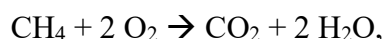
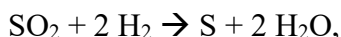
Tato studentka při vyčíslování rovněž nevyužívala sub-mikro reprezentace. V jediném případě byly v úvodní části využity váhy, kdy na základě nevyrovnaných vah doplnila chybějící koeficient 1. Rovnice již byla ovšem vyčíslená.

„Jo, a to bylo možná to, jak jsem se podívala na ty váhy, jakoby, mám to správně úplně? A to jsem si uvědomila to s tou nulou, že tam nemám jenom tu jedničku, si myslím.“

4.7.5 Studentka 5

Studentka 5 strávila vyčíslováním rovnic 12 minut. První rovnicí na úrovni 3 nezvládla vyčíslit. Všechny ostatní rovnice byly vyčísleny na první pokus. Rovnice na úrovni 2 byly vyčísleny velmi rychle a doba řešení byla nižší než průměr, zatímco u obou rovnic na úrovni 3 se jednalo o 2 minuty delší čas, než je průměr. Z toho lze usoudit, že tato úroveň obtížnosti rovnic dělala studentce potíže.

Vyčíslovala následující rovnice:



Při řešení rovnic byl uplatněn zpočátku stejný postup, kdy studentka rovnou sleduje poměry atomů jednotlivých prvků. Jakmile zjistila, že je nějaký prvek v nepoměru, začala ho dorovnávat. Poté přešla postupně vždy na další prvek, jehož poměr nesouhlasil. Studentka tedy příliš nesledovala rovnici jako celek, ale řešila ji po částech. Pokaždé končila dovyčíslením reaktantu, ve kterém jsou zastoupeny pouze atomy jednoho prvku.

Studentka v případě všech rovnic kontrolovala finální poměry před tím, než byla rovnice vyhodnocována. U první rovnice úrovně 3 studentka rovnici spíše sama vzdala, než že by nevěděla, že rovnice nesedí.

Při řešení rovnic na úrovni 3 studentka nedokázala brát v potaz rovnici jako celek, ale zaměřovala se vždy pouze na část v podobě jednoho prvku. U této náročnější úrovně, kde bylo za potřebí dát do souvislosti více prvků a najít pro ně společný násobek, měla studentka potíže s jejich vyčíslováním. Jak již bylo zmíněno, první úlohu této úrovně vzdala. V průběhu jejího vyčíslování se několikrát pokusila začít od znovu. Opět se zde projevila limitující strategie, kdy studentka nechtěla nastavit vyšší hodnotu koeficientu než 3. Zároveň uvedla, že jí potíže dělalo i to, že se jeden z prvků vyskytoval ve třech různých reaktantech, a ne pouze ve dvou:

„Protože tam pořád nevycházely kyslíky. Že tam vlastně muselo být to jedno číslo lichý. Což mě došlo, ale nevěděla jsem, který to bude, na který straně to musím udělat. Protože těch kyslíků je tam docela hodně, vyskytuje se tam třikrát. Takže jsem si říkala: Někde to budu muset risknout. Ale nějak jsem nedokázala odhodlat k tomu udělat ten krok, ani to navýšit na to vysoký

číslo pět, který tam nakonec bylo. Ale mě to nenapadlo, že by tam mohla být pětka. Říkala jsem si, že někde to bude muset být lichý a furt jsem se držela... Myslim, že pak tam byla snad i trojka, možná někde se objevila. Ale to nevycházelo.“

Druhou rovnici téže úrovně již dokázala vyčíslit úspěšně. Opět bylo možné pozorovat, že studentka nepostupovala systematicky, ale pouze nahodile zkoušela zvyšovat stechiometrické koeficienty. V tomto případě měla ale již zkušenost s předchozí rovnicí, z čehož je možné odvodit, že se pokusila pracovat i s vyššími hodnotami koeficientů a nezavrhovala je jako u předchozí rovnice. Při řešení této rovnice se studentka pokusila využít také oxidační čísla. Opět tato strategie nepřinesla pozitivní pokrok ve vyčíslování stejně jako u studenta 3. Setkala se s tím, že při práci s appletem bylo možné pracovat s oxidačními čísly pouze zpaměti:

„Protože u týchle úlohy já jsem se to snažila řešit i přes ty...jako redoxní rovnici. Jsem se snažila domyslet ty oxidační čísla. ... Já jsem to snažila nějak udržet v hlavě, jak se budou měnit oxidační čísla dusíku a kyslíku tady v tomhle případě. Ale jinak se mi to asi nepovedlo správně vyčíslit. Ono to stejně nevyšlo.“

To, že studentka při vyčíslování neuplatňovala systematický postup, ale pouze náhodně vyčíslovala, se potvrdilo i při jejím popisu, jak by postupovala při vyčíslování rovnic úrovně 3 mimo prostředí appletu. Uvedla, že její strategií je pouze tipovat stechiometrické koeficienty, dokud by nevycházely:

„Asi kdybych jí řešila v testu a měla bych na to čas, tak bych asi tipovala. Tipovala bych, dokud by to nevyšlo. Tady zrovna to nevycházely nějaký extrémně vysoký čísla, takže myslim, že by si to i dalo trefit. Člověk by to předělával tak dlouho...“

U této studentky se bylo možné pozorovat, že se v určitých částech vyčíslování zaměřovala na modely a využívala je. Toto bylo možné zaznamenat zejména u rovnic úrovně 3. Při popisu postupu studentka sama zmínila jejich využití, a to, že je přepočítávala. Dodala ovšem, že počítala pouze ty sub-mikro částice, které se nevyskytovaly v příliš velkém počtu. Z výpovědi bylo ovšem patrné, že studentka nedokázala přiřadit k atomům odpovídající prvky a označovala je pouze podle barev:

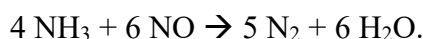
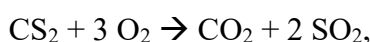
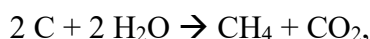
„Tam muselo dojít minimálně ke kontrole těch modrých kuliček. Ty oranžový, pochybuju, že bych počítala. Na to je jich tam příliš mnoho.“

Neschopnost přiřadit sub-mikro reprezentace ke vzorci byla pozorována již v položce 6 písemného pretestu (Hamerská, 2023). Při popisu postupu při vyčíslování rovnic to bylo potvrzeno.

4.7.6 Studentka 6

Studentka 6 byla ve vyčíslování rovnic 100% úspěšná. Její čas řešení, 9 minut 27 vteřin, se pohyboval nad průměrem. Jedinou rovnicí 2 úrovně 2 vyčísila rychleji než dle průměrného času řešení. Jinak jí trvalo vyčíslení rovnic déle.

Vyčíslovala tyto rovnice:



Při vyčíslování postupovala na začátku všech rovnic kromě jedné výjimky tím, že porovnávala zastoupení prvků. U první rovnice úrovně 2 si nejprve přečetla postupně celou rovnici, a až poté kontrolovala poměry atomů jednotlivých prvků. S dorovnáváním začala pokaždé, jakmile narazila na prvek, který se v rovnici nacházel v nepoměru. A jako poslední řešila vyčíslení částice složené pouze z jednoho prvku. Pokud, v případě druhé rovnice úrovně 3, takové byly dva reaktanty, molekula dusíku a molekula vodíku, byl to právě vodík, kterým vyčíslování zakončila.

U rovnic na úrovni 2 nakonec vždy doplnila koeficienty 1 před ty reaktanty, které nebylo potřeba vyčíslovat. Od úrovně 3 již dosadila koeficienty 1 u všech reaktantů hned ze začátku.

Tato studentka vždy kontrolovala vyčíslenou rovnici před vyhodnocením, čímž se ujistila, že je rovnice vyčíslena správně. To se jí ve všech případech také potvrdilo, jak již bylo zmíněno.

Zajímavé je srovnání řešení rovnic na úrovni 3, ve kterých se zároveň vyskytovaly totožné tři ze čtyř reaktantů. Studentka vyčísila první rovnici z těchto dvou snáze než druhou, což se potvrdilo i na čase řešení. V případě první rovnice studentka vyrovnala poměr všech prvků až na jeden, u kterého vycházel nepoměr sudého a lichého počtu prvku. Okamžitě to vyřešila zdvojnásobením všech koeficientů:

„A teď jsem si uvědomila, že tam nemůžu mít trojku, protože mám tam dva kyslíky, takže to je sudé číslo a nemůžu pracovat s lichým. Na rozdíl tady, kde jsou tři. Takže to musí být potom násobek sudej.“

U druhé rovnici, kde se vyskytnul stejný problém, ale studentka dlouho zkoušela dorovnávat poměry jednotlivých prvků, čímž se pokaždé dostal jeden z nich do nepoměru. Po několika krocích na způsob nalezení společného násobku přišla a rovnici vyřešila. Neprojevalo se, že by studentka vzhledem ke zkušenosti s předchozí rovnicí dokázala stejně, nebo rychleji postupovat u rovnice následující. Sama svůj postup označila za chaotický:

„A vždycky, když jsem posunula tady to číslo a měla jsem zároveň rozpracovaný i něco jiných, a vypadalo to už nadějně, tak mi došlo, že tady mi to zase nevychází, na téhle straně. Tady už mi to přijde víc chaotický, protože přesně to byl asi ten moment, kdy jsem si uvědomila, že mi to nevychází a že mám už ty čísla rozestavěný jako všude a nevychází to. A teď přesně nevím, co mám posunout.“

To naznačuje, že studentka nevnímá rovnice jako celek. Spíše postupovala po jednotlivých prvcích. Jakmile jeden dorovnala, pokračovala s vyčíslováním dalšího prvku. Studentka uvedla podobný popis svého postupu:

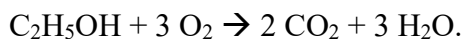
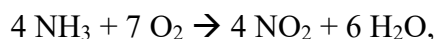
„Tak je to pokus-omyl. Ale jde vlastně o to, že počítám furt ty atomy a prvky zvlášť.“

Tato studentka nevyužívala při vyčíslování sub-mikro reprezentace ani pomocné váhy. Studentka vyčíslovala pouze na základě symbolického zápisu reakce. Pouze v případě rovnice 1 úrovně 2 zjistila na základě chybějícího modelu jedné výchozí látky, že u ní nebyl dosazen stechiometrický koeficient 1.

4.7.7 Studentka 7

Čas řešení studentky 7 se nachází pod průměrem. Pokud by byl počítán pouze čas bez opravných pokusů, jednalo se o 5 minut 48 vteřin. Tato studentka vyčíslovala všechny chemické rovnice. Jednu rovnici vyřešila až na druhý pokus. Jednalo se o rovnici úrovně 3.

Rovnice řešené touto studentkou byly:



Tato studentka vyčíslenou rovnicí většinou nekontrolovala. Kontrola proběhla pouze u dvou rovnic. U rovnice 1 úrovně 3 ke kontrole nedošlo a rovnice nebyla vyčíslena správně. Při opravném pokusu už před vyhodnocením rovnic zkontrolovala.

Studentka na začátku vyčíslování postupovala tak, že zkontrolovala poměry všech prvků. Až poté začala dorovnávat poměry. Výběr prvku, který začala dorovnávat jako první, nebyl jednoznačný. U dvou rovnic začala od prvního prvku, který se nacházel v nepoměru. U rovnice 2 úrovně 3 začala řešit vyčíslení vodíku, protože ji zaujala hydroxylová skupina u alkoholu, jak zmínila při popisu postupu v think-aloud:

„Na vodík, protože první, co mě zaujalo tak, že je tam vlastně OH skupina a že sudej počet, což znamená, že na druhý straně by taky musel bejt sudý počet. A od toho jsem se potom odvíjela.“

Jako poslední byl doplňován koeficient opět u reaktantů, kde byl zastoupen pouze jeden prvek. Výjimkou v postupu byla druhá rovnice na úrovni 2, kterou studentka vyčíslovala pouze v hlavě a poté rovnou dosadila odpovídající koeficienty. Jednalo se ovšem o rovnici, kde byly pouze stechiometrické koeficienty 1:

„Já už jsem to vlastně vyčísčila v hlavě, a pak už jsem tam jenom zadávala.“

Přepočítávání a vyčíslování v hlavě se ukázalo i v určité fázi obou rovnic úrovně 3. Studentka dlouho přepočítávala všechny prvky, a poté dosadila jednotlivé koeficienty. V této fázi se tedy nejednalo o to, že by vyčíslovala vždy pouze jeden prvek, a poté následně dle aktuální poměru začala vyčíslovat další. Několikrát se stalo, že doplnila špatný koeficient na základě nesprávného výpočtu. V případě rovnice 1 na úrovni 3 si toho při kontrole nevšimla. V ostatních případech díky kontrole chybu odhalila a vždy opravila.

Při vyčíslování rovnic na úrovni 3 cíleně hledala společný násobek, jak bylo zjištěno z think-aloud:

„Podívala jsem se na vodu a na ten amoniak. A zjišťovala jsem poměry jednotlivých těch prvků. A vzhledem k tomu, že mi to nesesedělo, tak jsem se podívala na to, že předtím jsem měla lichý číslo, takže jsem vlastně hledala, věděla jsem, že tam chyběj ty sudý čísla. Což znamená, že jsem hledala nějaký násobek. Takže šestkrát dva je 12 a čtyřikrát tři je 12. Takže takhle jsem se k tomu dostala.“

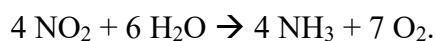
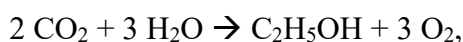
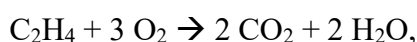
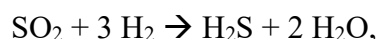
Vzhledem k přístupu, který studentka uplatňovala, je možné usuzovat, že vnímala rovnice jako celek a nevyčíslovala vždy pouze jeden prvek odděleně.

Studentka vyčíslovala rovnice pouze na základě symbolického zápisu a nevyužívala k tomu žádným způsobem sub-mikro úroveň.

4.7.8 Student 8

Studentova úspěšnost ve vyčíslování byla nejnižší ze všech respondentů. Dokázal vyčíslit pouze polovinu rovnic. Jeho čas řešení byl nejkratší ze všech, pokud jsou porovnávány časy prvních pokusů. Délka řešení byla 3 minuty 31 vteřin, což je méně než poloviční průměrný čas řešení. Opravné, ale neúspěšné pokusy trvaly studentovi 2 minuty.

Student vyčísloval následující rovnice:



U tohoto studenta se vyskytla výjimka v typu rovnic oproti ostatním respondentům. Studentova první rovnice úrovně 3 ($2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{O}_2$) neobsahovala vyšší hodnoty stechiometrických koeficientů než 3, což neodpovídá ostatním rovnicím v této úrovni (koeficienty měly vyšší hodnoty). Je tedy nutné brát s rezervou úspěšnost a postupy tohoto studenta ve vyčíslování u rovnic na úrovni 3, jelikož vyšší obtížnost se projevila pouze u druhé rovnice této úrovně. Vyskytuje se zde pochybnost o zařazení dané rovnice do obtížnosti 3 v appletu. Za náročnější aspekt této rovnice lze považovat výskyt hydroxylové skupiny, díky které se vyskytuje ve vzorci vodík dvakrát, a tak u ní hrozí nesprávné započítání vodíku.

Na začátku vyčíslování rovnice bylo uplatňováno dosazení koeficientů 1 u všech reaktantů a sledování poměru atomů jednotlivých prvků. Tyto dva principy nebyly využívány vždy ve stejném pořadí, ale pokaždé s nimi tento student začínal. Dosazování koeficientu 1 bylo získáno při řešení úvodních rovnic.

U tohoto studenta není z jeho postupu možné specifikovat, jakým způsobem vybíral prvek, který začne vyčíslovat jako první. V think-aloud uvedl, že začínal prvkem, který viděl, že je v nepoměru. Níže je uveden příklad výpovědi popisující jednu rovnici:

„Jakože je vidět, že ten uhlík se v té reakci mění, že o to tam jde. Ne jako, že o vodu nejde. Ale... Nebo že na první pohled vidím, že se mění počty toho uhlíku. Kdežto třeba u vod, tak je H₂ a H₂. Jo, že to jako, ne nesmysl, ale...“

Student kontroloval vyčíslení rovnice průběžně, ale i před vyhodnocením. Finální kontrola ovšem nebyla provedena vždy. Bez kontroly byla vyhodnoceny dvě rovnice, obě nebyly vyčísleny správně. Přestože u opravných pokusů již kontrolu provedl, stejně neodhalil chybu. To bylo způsobeno v jednom případě nesprávným čtení zápisu chemické reakce, kdy počítal se spodním indexem jiného prvku. Dále se mohlo jednat o početní chybu. Výsledky z pretestů ovšem nasvědčovaly tomu, že student 8 zápisu chemické reakce rozuměl. Naopak odhalil početní chyby při vyčíslování v rámci eye-trackingového pretestu.

V případě chybné rovnice na úrovni 2 bylo možné z eye-trackingového záznamu sledovat, že student při vyčíslování zapomněl vyčíslit jeden prvek a vynechal ho. V opravném pokusu zase vynechal vyčíslení dalšího prvku.

U nevyčíslené rovnice na úrovni 3 se projevilo, že student nedokázal přijít na způsob znásobení koeficientů tak, aby došlo k vyrovnání nepoměru mezi sudým a lichým počtem. Tento student se u předcházejících rovnic, které vyčísloval v appletu, nesetkal s vyšším koeficientem, než je 3. A u poslední rovnice vyšší koeficient než 3 nezkoušel. Je možné usuzovat, že uplatňoval stejnou limitující strategii jako část ostatních studentů. A to, že pro něj vyšší koeficienty nepřipadaly v úvahu. Tato úvaha ovšem nebyla v rámci think-aloud zmíněna.

Zajímavé je, že tento student v průběhu vyčíslování v nejednom případě přecházel do oblasti se sub-mikro reprezentacemi a jejich počet mezi sebou porovnával. Dle záznamu z eye-trackeru bylo možné pozorovat, že na základě toho několikrát provedl změnu v koeficientech v rovnici. Sám ale označil jako lepší variantu počítat pouze v rámci rovnice. Uvedl, že modely využíval pouze tehdy, když nevěděl, jak pokračovat:

„To bych řekl, že na základě, jak jsem říkal, že mě to spíš ruší, že neberu to jako pomoc, že se tam kupěj ty kuličky nebo molekuly. Ale na základě, že tonoucí se stébla chytá, jsem tak jako zkusil je si spočítat. ... Přišlo mi, že jako, že lepší, než počítat jednotlivý kuličky, je to číslo tam napsaný.“

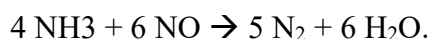
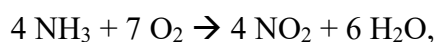
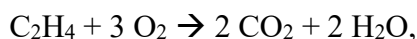
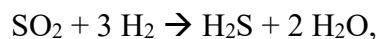
V úvodní části a u první rovnice úrovně 3 modely ani váhy k vyčíslování nevyužil. Je možné se domnívat, že tyto rovnice byly pro studenta snadné vyčíslit, a tak nepotřeboval hledat žádnou variantu pomoci k řešení.

4.7.9 Studentka 9

Studentka 9 strávila vyčíslováním 10 minut 25 vteřin, o minutu déle při započítání času druhého pokusu. Její úspěšnost ve vyčíslování byla 62,5 %. Problematické byly první rovnice

na obou úrovních. Rovnici na úrovni 2 zvládla vyčíslit na druhý pokus, na úrovni 3 první rovnici nevyčísliła a vzdala.

Studentka vyčíslovala tyto rovnice:



Strategie, kterou studentka vždy při vyčíslování uplatňovala, bylo, že si nejprve přečetla výchozí látky, ale u produktů již porovnávala poměry jednotlivých prvků. Poté, co všechny poměry zkontrolovala, začala vyčíslovat nejčastěji dorovnáním poměru prvku, který v rovnici vystupoval v sudém a zároveň lichém počtu. Tento postup nebyl využit pouze u rovnice 1 úrovně 2. Studentka vyčíslování vždy zakončila dosazením koeficientu u reaktantu složeného z jednoho prvku:

„Potom (pozn.: potom, co přečetla výchozí látky a produkty) jsem většinou začla tím lichým. Co tam bylo lichý, tak jsem se z toho snažila udělat něco sudýho. Takhle já vždycky u všeho začínám.“

V think-aloud uvedla, že vyčíslování atomů vodíku a kyslíku nechává na konec. Ze záznamu postupu z eye-trackingu bylo možné pozorovat, že to byly naopak v případech dvou rovnic atomy vodíku, které vyčíslovala jako první, přestože se zde vyskytoval i jiný prvek v nepoměru v počáteční nevyčíslené fázi rovnice:

„Čistě hypoteticky já vlastně paradoxně končím kyslíkama a vodíkama, když to jsou třeba delší rovnice, protože ty mi tam většinou dělaj tu paseku na konec.“

Studentka vždy kontrolovala rovnici nejen před vyhodnocením, ale i průběžně. Ne vždy byla ale její kontrola správná. Dvakrát došlo k vyhodnocení nesprávně vyčíslené rovnice, kterou poté v jednom případě opravila. Je tak možné konstatovat, že její kontrola není přesná.

Jak již bylo uvedeno, studentka dvě rovnice vyčísliła nesprávně. Chybou u rovnice 1 úrovně 2 bylo pouze přepočtení se v počtu atomů jednoho prvku. To znamená, že k reaktantu, který vyčíslovala jako poslední doplnila koeficient o jedna vyšší hodnoty. Při úspěšné opravě ovšem neodhalila řešení chyby hned ze začátku, pouze se snažila počet daného prvku dorovnat

ve zvýšeném počtu na obou stranách rovnice. Následně začala s vyčíslováním od začátku a rovnici vyčíslila správně.

U druhé nesprávně vyčíslené rovnice, což byla první rovnice úrovně 3, se projevila neschopnost vyčíslit sudý a lichý nepoměr počtu atomů, kdy studentka nepřišla na řešení se znásobením hodnot koeficientů. Když už nevěděla, jak dál, začala vyčíslovat od znovu. Její postup byl ale totožný jako na začátku, a tak se dostala do stejné fáze. Toto si sama uvědomovala, jak lze zaznamenat z její výpovědi níže. Studentka se následně dostala do bodu, kdy pouze přepočítávala jednotlivé prvky, ale nedocházelo k žádným změnám v koeficientech. Nakonec nepřišla s žádným způsobem, jak rovnici vyřešit, a tak ji vzdala.

V: „*Vlastně v čem je jinej tenhle ten novej postup?*“

S9: „*Právě že vůbec v ničem. Já jsem si myslela, že když to zkusím od začátku, tak mi to vyjde. Ale už jsem byla poměrně vystresovaná.*“

Druhou rovnici téže úrovně již dokázala vyřešit, přitom se zde jednalo o stejný nepoměr. Ve výpovědi uvedla, že v tomto případě dokázala přijít na postup, jak vyčíslit tuto rovnici díky nesprávně vyčíslené předchozí. Uvedla, že měla problém nastavit vyšší koeficient v předchozí rovnici. Na řešení se společným násobkem nepřišla hned, ale rovnici vyčíslovala postupně a koeficienty znásobila:

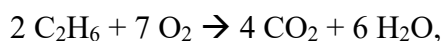
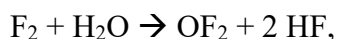
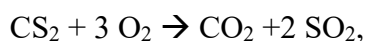
„*Tady jsem se snažila neudělat stejnou chybu jako minule. ... To, že jsem vlastně měla dát vyšší číslo před ten amoniak a nebrat, že je kravina dávat vyšší číslo před ten amoniak. ... A už jsem si uvědomila, že to číslo nemusí bejt vždycky dvojka, ale že v rovnicích může být občas vyšší číslo, jako je například ta šestka.*“

Studentka při vyčíslování nevyužívala žádným způsobem sub-mikro oporu v prostředí appletu.

4.7.10 Studentka 10

Tato studentka vyčíslila všechny rovnice napoprvé. Její celkový čas řešení, 4 minuty 53 vteřin, byl nejkratší ze studentů se 100% úspěšností. Pokud jsou počítány pouze časy prvních pokusů, jednalo se o třetí nejkratší čas.

Rovnice řešené touto studentkou byly následující:





Studentka při vyčíslování uplatňovala buď závěrečnou kontrolu rovnice před vyhodnocením nebo průběžně kontrolovala, zda poměry atomů odpovídají. Ve dvou případech bezprostředně před vyhodnocením rovnice nekontrolovala, ale kontrola proběhla před doplněním posledního koeficientu.

Postup této studentky ve vyčíslování byl velmi odlišný od ostatních respondentů. Stejně jako někteří z nich na začátku rovnou sledovala poměry atomů jednotlivých prvků. Na rozdíl od nich ale celé vyčíslování rovnice a hledání odpovídajících poměrů atomů neřešila postupně přidáváním koeficientů, ale počítala je rovnou v hlavě. Poté doplnila koeficienty před všechny výchozí látky a produkty. Při doplňování koeficientů průběžně kontrolovala, zda poměry atomů odpovídají. Při vyčíslování žádné rovnice nedošlo k tomu, že by koeficienty musela upravit:

„Protože, dokud si to pamatuju, kolik tam toho je, tak to radši řeším v hlavě, než že si to tam píšu.“

Z jejího popisu postupu bylo patrné, že studentka řešila zároveň poměry atomů více prvků a nesoustředila se postupně na jeden. Zároveň je možné říci, že pro ni byl zřejmý způsob, jakým vyřešit nepoměr atomů:

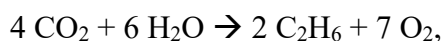
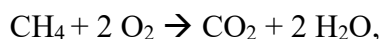
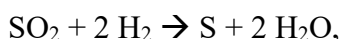
„Tak asi první, co mě napadlo, že tam mám zase sudý a lichý počet uhlíků. A pak zase sudej a lichej počet kyslíků. A že tam mám docela dost vodíků. A že, když dám trojku před vodu, tak mi to nebude vycházet. Protože budu mít zase lichej počet kyslíků.“

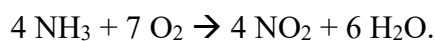
Při vyčíslování v prostředí appletu nebyly studentkou využity ani modely, ani nápomocné váhy. Studentka se při vyčíslování pohybovala pouze v rámci rovnice.

4.7.11 Studentka 11

Studentka 11 patří mezi méně úspěšné respondenty s druhým nejhorším výsledkem. Studentce dělaly potíže první rovnice na obou úrovních, z čehož rovnicí na úrovni 2 zvládla vyřešit, na úrovni 3 nebyla vyřešena úspěšně. Čas řešení byl velmi krátký, 3 minuty 54 vteřin pro první pokusy, s opravami se celkově jednalo o 5 minut 38 vteřin.

Studentka vyčíslovala tyto rovnice:





Tato studentka nekontrolovala, zda výsledné vyčíslení rovnice před vyhodnocením odpovídá. Nemohlo tak dojít k odhalení chyb a jejich opravě.

Na začátku vyčíslování rovnice nejprve porovnávala poměry atomů prvků a rovnou začala s dorovnáváním toho prvku, jehož počet vzájemně neseděl u výchozích látek a produktů. Jako poslední dosazovala koeficient před reaktant, který byl složen pouze z jednoho prvku. Sama svůj postup vyčíslování rovnic popsala následovně:

„Koukám, co mám napravo, co mám nalevo, no. A vždycky se to snažím jako dorovnávat. A když vidím, že mi to někde nevychází, tak většinou se s tím snažím nák hejbnout, no. Že když vidím, že mi někde vychází lichý číslo, což je jako kravina, tak se to pak snažím nák jako...“

Při popisu postupu zároveň uvedla, že kyslíky a vodíky se mají vyčíslovat až jako poslední prvky. Tato výpověď odpovídala postupu studentky pouze částečně. Ze záznamu z eye-trackingu bylo možné sledovat, že začínala vyčíslovat jiný prvek než vodík a kyslík tehdy, když se nacházel v nepoměru. Pokud si tedy tento prvek v počátečním stavu odpovídal, začala vyčíslovat právě od vodíku:

"Učili mě jako vždycky, že vodíky a kyslíky až na konec, protože ty jak jsou součástí většiny vlastně sloučenin, tak pak úplně jako na konci se vlastně ukáže, jak jsou vyčíslený. Takže jako bych to nechala. Až vlastně na začátek by se mělo dávat to, jakoby určitě ne teda ten kyslík, vodík, ale prostě ty ostatní prvky.“

U této studentky neprobíhala finální kontrola rovnice před vyhodnocením. Tuto kontrolu provedla pouze jednou, u rovnice 1 úrovně 3, přesto kontrola nepomohla odhalit chybu opomenutí zvýšení koeficientu u jednoho reaktantu.

U první rovnice úrovně 2, která byla vyčíslena až na druhý pokus, chyba spočívala v nesprávném vyčíslení jednoho reaktantu. Vzhledem k tomu, že při druhém pokusu tento nepoměr odhalila díky přepočítání všech prvků, této chybě mohlo být zamezeno právě kontrolou před vyhodnocením rovnice.

Další rovnicí, která dělala studentce potíže při vyčíslování, byla první rovnice úrovně 3. U této rovnice rychle přišla se způsobem, jak dorovnat sudý a lichý nepoměr počtu atomů určitého prvku, a to díky zdvojnásobení hodnoty stechiometrických koeficientů. Při první pokusu opomněla na zvýšení koeficientu jednoho reaktantu. I přes kontrolu si chyby nevšimla.

U druhého pokusu nejprve chybu odhalila a reaktant dorovнала. Náhle ale celou rovnici vynulovala a postupovala od znovu. Tento krok zdůvodnila v rámci think-aloud. Uvedla, že potřebovala celou rovnici vynulovat a začít od začátku, aby ji již dosazené koeficienty nerozptylovaly:

„Jo, tady jsem začla od začátku, no, protože ty čísla mě tam pak hrozně rozptylovaly, takže jsem si to všechno potřebovala jako smazat a začít zase od začátku. Jako zkusit to jako od začátku.“

Při tomto postupu se dostala opět do stejné fáze jako při první pokusu a rovnici vyhodnotila opět s nevyčísleným jedním reaktantem. Na základě dvojnásobného opakování totožné chyby lze konstatovat špatné porozumění symbolickému zápisu vyplývající z nesprávného zahrnutí spodního indexu jiného prvku.

Studentka nesledovala rovnici jako celek, ale vyčíslovala postupně vždy po jednom prvku. Poté, co atomy jednoho prvku dorovнала, přesunula se na jiný:

„... A tam když vidím, že mi to sedí s tím, co mám mít na začátku, tak pak vlastně pokračuju dál. A když vidím, že vlastně mi to číslo něk změní úplně, tak tu první vlastně, tu molekulu, nebo tu první sloučeninu, tak se k tomu teprve až vracím. Ale že asi jinak jdu jako postupně.“

Při vyčíslování studentka nevyužívala žádným způsobem oblast se sub-mikro reprezentacemi. Pomocné váhy byly fixovány pouze v případě první úvodní rovnice ve fázi, když už měla studentka vyčísleno a chybělo pouze doplnit koeficient 1. Právě z vah bylo zjištěno, že se stále jeden prvek nachází v nepoměru. Na základě toho byl doplněn chybějící koeficient. Z výpovědi studentky je patrné, že se na sub-mikro oblast zaměřila pouze z toho důvodu, že došlo v této oblasti k nějaké změně:

„Já jsem právě vůbec jako, pak když jsem tam začla naklikávat ty čísla, tak jako taky jsem si všimla, že mi tam skáčou ty molekuly, ale já na to vůbec nekoukala. Já jsem jenom koukala vlastně na to, kolik toho jako kde mám. Možná proto mi to taky tak trvalo. Ale jinak vůbec jsem se na to nezaměřovala vlastně, že tam jsou ty obrázky. Jen jsem vlastně vždycky zkontrolovala, jestli mi to jako sedí v tý rovnici, ale jinak ne.“

4.8 Využití appletu – pomocné nástroje, sub-mikro opora

Prostředí appletu nabízí v porovnání s běžným vyčíslováním kromě symbolické úrovně reprezentací představující pouhou chemickou rovnici také oporu v podobě modelů reagujících látek a dalších pomocných nástrojů ukazujících poměr atomů (váhy a sloupcové grafy – viz Obrázky 7 a 8). V této kapitole bude uvedeno, jak studenti prostředí appletu využívali.

V Tabulce 12 níže je možné sledovat průměrné hodnoty doby fixace AOIs zahrnujících sub-mikro reprezentace u rovnic odlišné obtížnosti. Doba fixace je uvedena v milisekundách.

Tabulka 12 Průměrné hodnoty doby fixace sub-mikro reprezentací

	úvod 1		úvod 2		L2_rovnice 1		L2_rovnice 2		L3_rovnice 1		L3_rovnice 2		celkem	
	modely / váhy	podíl z celkové doby fixace	modely / váhy	podíl z celkové doby fixace	modely	podíl z celkové doby	modely	podíl z celkové doby	modely	podíl z celkové doby	modely	podíl z celkové doby	využití sub-mikro úrovně	podíl z celkové doby
průměr	886 / 1433	12,1 %	286 / 758	4,1 %	1854	4,7 %	505	1,3 %	3654	1,8 %	3116	2,8 %	12492	3,6 %

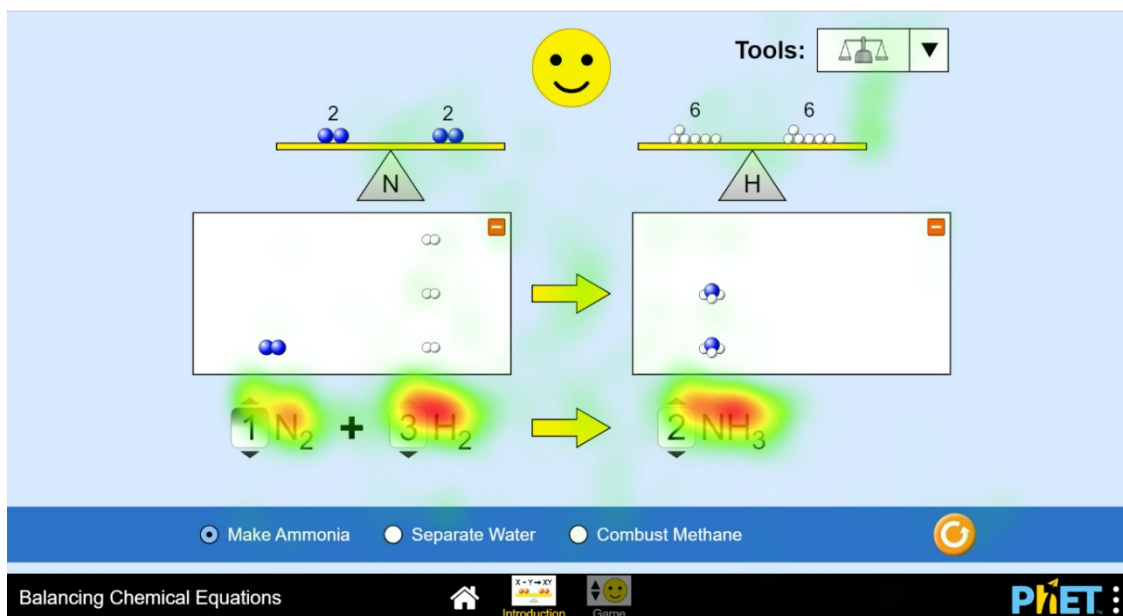
Z dat uvedených v tabulce vychází, že nejdéle byla fixována sub-mikro opora na začátku úvodní a na začátku herní části appletu vyčíslování chemických rovnic v porovnání s celkovou dobou strávenou řešením dané rovnice. Z toho lze usuzovat, že studenti v této fázi poznávali prostředí appletu a zjišťovali jeho funkčnost. To rovněž potvrzují jejich výpovědi:

„Vim, že mě zarazilo, že se tam změnila a něco se tam ukázalo novýho, proto jsem se tam podívala.“ (Studentka 7)

V: „Tam jste na chvíli koukla na ten sloupec těch vodíků, těch molekul. Pomohlo Vám to nějak?“

S9: „Spíš mě zajímalo, co tam nahoře skáče.“

Směřování pozornosti studentů při vyčíslování rovnice syntézy amoniaku v úvodní části je zobrazeno prostřednictvím heatmapy na Obrázku 12. Přestože byly oblasti se sub-mikro oporou průměrně fixovány 12 % času, z obrázku je patrné, že se při vyčíslování respondenti zaměřovali především na symbolický zápis. Ze sub-mikro opory fixovali spíše váhy než oblast s modely.



Obrázek 12 Výsledná heat mapa úvodní rovnice syntézy amoniaku všech studentů

Celkově byla sub-mikro opora využívána pouze v 3,6 % času z celkové doby řešení rovnic. Rozložení pozornosti studentů bylo směřováno zejména na symbolickou úroveň obdobně jako na Obrázku 12 pro úvodní část výše. Z výzkumu vychází, že sub-mikro opora nebyla pro studenty podstatná při vyčíslování rovnic a že se při něm zaměřovali především na symbolickou úroveň reprezentace:

„Já jsem asi přemejšlela nejdřív, jestli k něčemu jsou ty váhy. Pak jsem řekla, že to budu dělat prostě z toho spodního.“

Při porovnání s výsledky ve vybraných úlohách eye-trackingové pretestu je možné sledovat rozdíly ve využití různých úrovní reprezentací. Odpovědi na úlohu 2 eye-trackingového pretestu potvrzují, že studenti považovali za nejvýznamnější symbolickou úroveň. Část z respondentů se při řešení této úlohy zaměřila také na makro úroveň. Nejnižší počet a doba fixací byla zaznamenána právě u sub-mikro úrovně reprezentací. Zároveň v úloze 4 bylo zaznamenáno, že studenti dokáží na základě diagramu se sub-mikro reprezentacemi uvést vyčíslenou rovnicí. V appletu na vyčíslování rovnic jim sub-mikro opora téměř nikdy nepomohla.

Nejdélší dobu fixace modelů bylo možné zaznamenat u rovnic na úrovni 3. Z think-aloud vyplynulo, že pokud si studenti nevěděli rady s dalším postupem, snažili se najít pomoc v oblasti se sub-mikro reprezentacemi. A právě rovnice na úrovni 3 jim činily největší obtíže.

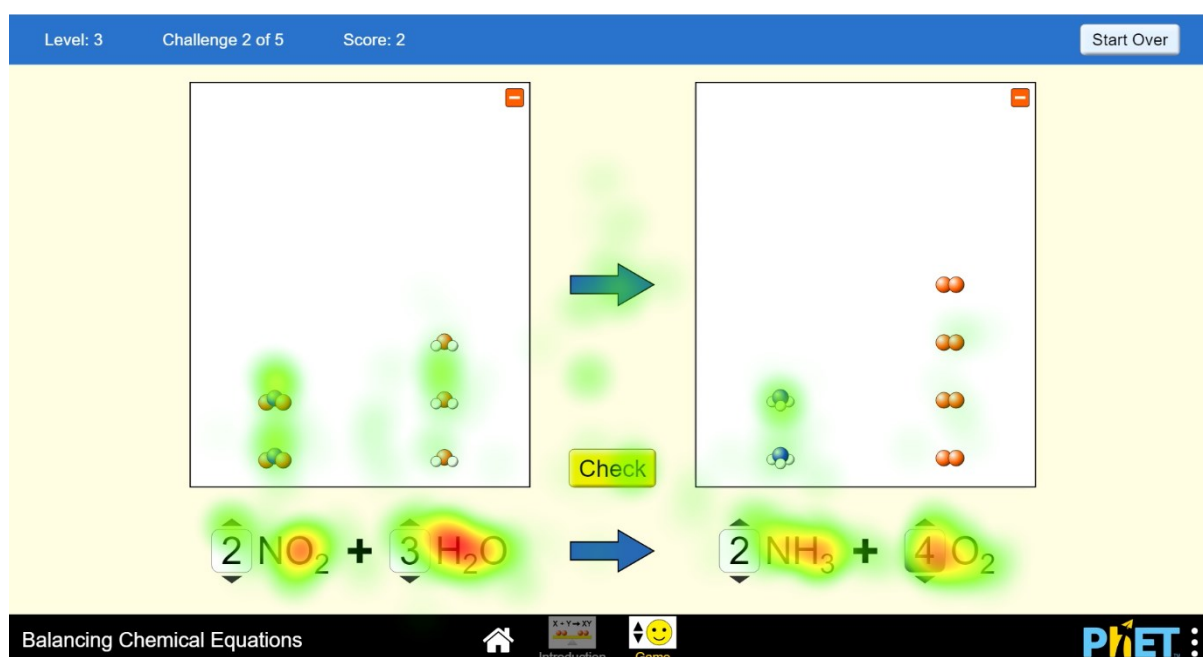
V Tabulce 13 na následující stránce je možné sledovat, kteří studenti se zaměřovali na sub-mikro oporu více než ostatní a zda byl jejich postup úspěšný. Řazení studentů je dle jejich úspěšnosti ve vyčíslování.

Tabulka 13 Porovnání doby fixace sub-mikro reprezentací jednotlivými respondenty

	úvod 1		úvod 2		L2_rovnice 1			L2_rovnice 2			L3_rovnice 1			L3_rovnice 2			využití sub-mikro úrovně celkem	podíl z celkové doby řešení
	modely / váhy	podíl z celkové doby fixace	modely	podíl z celkové doby fixace	modely	podíl z celkové doby	počet bodů	modely	podíl z celkové doby	počet bodů	modely	podíl z celkové doby	počet bodů	modely	podíl z celkové doby	počet bodů		
Student 1	2358 / 758	14,4 %	75 / 1575	4,3 %	1542	3,3 %	2	200	0,7 %	2	1869	1,2 %	2	625	0,7 %	2	9002	2,8 %
Student 2	525 / 467	8,4 %	183 / 492	3,6 %	525	2,2 %	2	0	0 %	2	426	0,3 %	2	492	0,7 %	2	3110	1,3 %
Student 3	1383 / 3775	22 %	1641 / 3542	17 %	1833	7,0 %	2	0	0 %	2	4934	1,3 %	2	1191	1,1 %	2	18299	3,4 %
Student 6	654 / 1308	11,1 %	92 / 167	0,9 %	1358	3,2 %	2	658	1,6 %	2	75	0,1 %	2	1141	0,5 %	2	5453	1 %
Student 10	1191 / 977	8,9 %	0 / 233	1,1 %	188	0,5 %	2	233	0,7 %	2	170	0,2 %	2	0	0 %	2	2992	0,6 %
Student 7	275 / 383	3,9 %	133 / 200	1,4 %	605	3,4 %	2	390	1,5 %	2	691	0,5 %	1	225	0,3 %	2	2902	0,7 %
Student 4	486 / 2808	19,9 %	0 / 816	3,3 %	1800	4,2 %	2	1250	1,4 %	1	2350	0,6 %	1	158	0,4 %	2	9668	3,9 %
Student 5	443 / 1958	12,5 %	0 / 117	0,6 %	1425	5,3 %	2	500	2,5 %	2	23526	8,1 %	0	12417	6,2 %	2	40386	7,2 %
Student 9	489 / 217	4,9 %	0 / 142	0,5 %	800	0,8 %	1	317	0,6 %	2	5034	6,8 %	0	665	0,5 %	2	7664	2,1 %
Student 11	608 / 2191	11,8 %	283 / 192	1,5 %	100	0,5 %	1	0	0 %	2	926	0,7 %	0	0	0 %	2	4300	2,2 %
Student 8	1334 / 925	10,7 %	742 / 858	7,9 %	10216	21,7 %	0	2009	5,4 %	2	189	0,5 %	2	17359	20,3 %	0	33632	14,5 %
průměrná doba fixace AOIS	886 / 1433	12,1 %	286 / 758	4,1 %	1854	4,7 %		505	1,3 %		3654	1,8 %		3116	2,8 %		12492	3,6 %

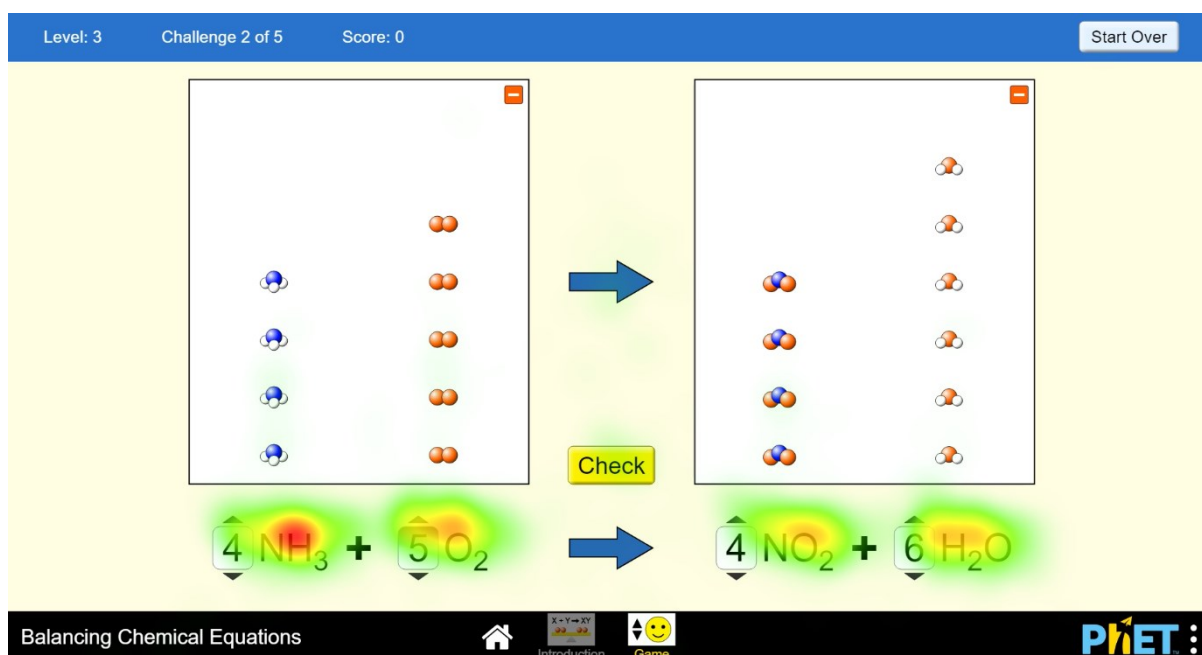
Z dat v tabulce je možné vyčíst, že u studentů úspěšných ve vyčíslování je hodnota využití sub-mikro opory průměrně nižší než u respondentů s nižší úspěšností ve vyčíslování. U většiny studentů se celková doba fixace sub-mikro opory pohybovala v hodnotách do 2 % celkové doby řešení rovnic. Pouze tři studenti fixovali u vybraných rovnic sub-mikro oporu více než 5 % času řešení dané chemické rovnice. U dvou z nich se zároveň jednalo o více než 5 % při celkovém srovnání řešení všech rovnic. O těchto studentech je tedy možné říci, že účelně využívali sub-mikro oporu k řešení rovnic. Dle výsledků ale nelze označit jejich využití za prospěšné. Neúspěšnost vyčíslování těchto dvou studentů byla zejména u rovnic s delší dobou fixace sub-mikro opory.

Využití sub-mikro reprezentací při vyčíslování je patrné i z heatmapy rovnice 2 na úrovni 3 u studenta 8 na Obrázku 13. Z eye-trackingového záznamu i z rozhovoru bylo patrné, že student modely přepočítával. Toho je možné si všimnout zejména u modelů molekul výchozích látek a amoniaku. U molekul kyslíku nebyla fixace tak významná, jelikož tento produkt vyčísloval student až na závěr. Jak již bylo zmíněno, student byl při vyčíslování této rovnice neúspěšný.



Obrázek 13 Výsledná heat mapa znázorňující fixaci sub-mikro i symbolické úrovně reprezentací na příkladu vybrané rovnice řešené studentem 8

Úspěšný pokus s vyčíslováním stejné rovnice byl zaznamenán například u studentky 11. Pokud je porovnána heatmapa řešení této studentky (viz Obrázek 14 níže) a studenta 8 (viz Obrázek 13 výše) je patrné, že tato studentka sub-mikro oporu k řešení nevyužila.



Obrázek 14 Výsledná heat mapa znázorňující fixaci pouze symbolické úrovně reprezentací na příkladu vybrané rovnice řešené studentkou 11

Carpenter a kol. (2016) využili ve svém výzkumu stejný applet při výuce vyčíslování chemických rovnic v prvním semestru VŠ. Na rozdíl od tohoto výzkumu ovšem sledovali, že studenti využívali oba typy reprezentací a jejich využití pro ně bylo přínosné. Ze sub-mikro opory byly využívány jak pomocné nástroje (váhy, sloupcové grafy), tak i modely molekul. Výsledky ve výzkumu Hansen (2014) rovněž odhalily, že při využití modelů byla úspěšnost v úlohách v prostředí appletu zaměřeného na stechiometrii vyšší, než pokud je student nevyužil nebo využil v menší míře.

Je možné se tedy zaměřit na důvod nevyužívání sub-mikro opory v tomto výzkumu a na příčinu neúspěšnosti jejího případného využití.

Důvody nevyužívání sub-mikro opory mohou spočívat celkově v neznalosti jejího zapojení do výuky vyčíslování chemických rovnic. Studenti vnímali jako podstatnější vyčíslování v rámci rovnice na základě jejich zkušenosti. To je možné zaznamenat v následujících úryvcích jednotlivých respondentů:

„Snažil jsem se na ně nekoukat (pozn.: na modely), protože na to nejsem zvyklý, tak mi to tak nějak nepřišlo úplně důležitý nebo jako pomocný.“ (Student 8)

„Jako potom bych si musela hrát jenom s těma kuličkama. A asi se přestat zaměřovat na to vypočítávání tý rovnice. Ale my jsme zvyklý z tohohle vycházet, takže... Nikdy jsme žádný kuličky nikde neměly. Takže člověk se soustředí primárně na to. Ty kuličky jsou takový...“ (Studentka 5)

Jako další příčinu je možné označit také neznalost funkčnosti appletu. Například ve výpovědi studentky 1 je možné zaznamenat neznalost významu vah v appletu:

„Jako ty váhy jsem nějak jako nekoukala, protože to mi nějak nepomáhalo. Až jako pak ke konci možná jednou takhle. Ale jenom minimálně, že jsem si toho vůbec nevšimla. ...podle mého to pro mě bylo důležitější dole koukat na čísla než nahoru jenom na ten zbytek. A asi mi v tu chvíli nějak nedošlo...že jako mi to tam ukazuje ten počet, že je nemusím počítat.“ (Studentka 1)

Podobný problém s nepochopením sub-mikro opory v appletu zmínila také studentka 5. Během vyčíslování rovnic v appletu nepochopila, co které modely představují:

„Ted' mi to dochází, že vždycky to, co přibývá, ty kuličky, co přibývají, jsou nad tím. Ono je to hrozně hloupý, ale v tu chvíli mi to nedošlo. Že tady přibývá kyslík, takže ten přibývá tadyhle. Tady máme ethyn, tak ten přibývá nad ním. Já jsem to v tu chvíli takhle vůbec nevyhodnotila. Jenom levá, pravá.“ (Studentka 5)

Potíže s porozuměním sub-mikro reprezentacím zjištěných z pretestů nebo zmíněných v think-aloud při popisu postupu vyčíslování v appletu dokazuje i studie Slapničar a kol. (2018), která odhalila u tématu chemické reakce miskoncepty na sub-mikro úrovni u třetiny respondentů. V jiném výzkumu (Davidowitz & Chittleborough, 2009) dokázali studenti VŠ uvést vyčíslenou rovnici jak na základě reprezentace na úrovni sub-mikro, tak i klasicky vyčíslit symbolický zápis reakce. Celkové porozumění konceptu se již ukázalo jako problematictější při řešení úlohy založené na diagramu zobrazujícím modely (Davidowitz & Chittleborough, 2009). Problémy s převedením symbolického zápisu do sub-mikro diagramu byly sledovány několika výzkumníky (např. Davidowitz & Chittleborough, 2009; Kern a kol., 2010; Yaroch, 1985). Obtíže s porozuměním chemickým reprezentacím se nezdají být ojedinělé.

Ve výpovědi studenta 3 bylo možné zaznamenat, že funkčnosti prostředí appletu nevěřil:

„Já vlastně jako se úplně nespolehal na ty váhy. Radši jsem postupoval přes ty čísla. Ač teda jako matematika teda není úplně jako můj nejsilnější obor, tak přece jen radši číselně než prostě se spoléhat třeba na obrázky v tomhle případě teda.“ (Student 3)

Dva studenti uvedli, že pro ně bylo dokonce prostředí appletu rozptylující.

Ukázalo se, že studenti nejsou z předchozí výuky vybaveni znalostmi a zkušenostmi ohledně práce se sub-mikro úrovní reprezentace, aby dokázali prostředí appletu vyčíslování rovnic hodnotně využít. K účelnému využití prostředí appletu, je potřeba s ním studenty nejprve seznámit.

Dle výsledků výzkumů vyplývá, že je složité, aby studenti dokázali smysluplně pracovat a vytvářet odpovídající souvislosti bez určité míry scaffoldingu při zabývání se složitými koncepty (Williamson & Abraham, 1995). I přes využití opory se mohou vyskytnout problémy díky nesprávnému zaměřování pozornosti nebo špatné interpretaci informací (Keehner a kol., 2008). Jako nápomocný v řešení těchto problémů, které se vyskytly i při využívání appletu vyčíslování rovnic, se ukázalo zapojení tzv. *screencastu* (VandenPlas a kol., 2021). Screencast představuje komentovaný záznam obrazovky např. při využívání prostředí appletu, díky čemuž je usměrňována pozornost studentů. Ten lze využít zejména v případě asynchronní výuky. Při klasické výuce ve škole je možné ho nahradit přímou demonstrací správného způsobu zacházení s appletem a vysvětlením funkčnosti jeho prvků.

4.9 Předchozí výuka tématu chemických rovnic a jejich vyčíslování

V rozhovoru byli studenti dále tázáni na způsob, kterým by postupovali a na jejich zkušenosti s výukou tématu chemických rovnic v předchozím studiu. Z analýza rozhovorů vychází na některé opakující se aspekty výuky a postupy vyčíslování chemických rovnic.

Celkově čtyři studenti považovali výuku tohoto tématu za složitou a dva uvedli, že toto téma bylo vnímáno jako neoblíbené. Žádný respondent neuvedl, že by patřilo v chemii k oblíbeným nebo snadným tématům.

Stejně výsledky ohledně vnímání tématu vyčíslování rovnic lze zaznamenat i ve výzkumných šetřeních, ať z pohledu žáků (Rusek, 2013), tak z pohledu učitelů (Rychtera a kol., 2020).

V tom, jestli bylo téma vyčíslování rovnic ve výuce zastoupeno dostatečně, se názory studentů lišily. Čtyřikrát bylo zmíněno, že bylo vyčíslování rovnic ve výuce věnováno velké množství času. Třemi studenty byl rozsah výuky této problematiky ve škole označen za nedostatečný. Dva z těchto tří studentů uvedli, že se již počítalo s tím, že si téma žáci pamatují z výuky na nižším stupni.

Jak uvedla studentka 9, přestože vyčíslováním rovnic se zabývali dlouho, stejně bylo učitelovo zvýšené úsilí naučit žáky vyčíslování rovnic zbytečné, jelikož bylo v průběhu studia mezi nižším a vyšším stupněm gymnázium zapomenuto:

„No, my jsme kvůli tomu nestíhali absolutně vlastně ve škole. Byl to nějaký, myslím, že půlrok, že jsme vyloženě půlrok jako meškali, kterej nám zůstal, protože on se věnoval vyloženě jenom čtvrtletí jenom rovnicím ... Ale na vyšším gymnáziu vlastně už jeho práce vyšla v uvozovkách „vniveč“, protože se to za těch šest let nějak zapomnělo.“

Zajímavý je rovněž popis přístupu učitelky ke zprostředkování vyčíslování rovnic žákům, který uvedla studentka 11:

„My jsme měli takovou starší profesorku, takže nevím, jestli to bylo jako tím, jakým stylem ona byla zvyklá učit. Ale ta to do nás vyložene jako rvala. I jako prostě nezajímalo jí, jestli nás chemie jako zajímá, nebo ne. Mě zrovna zajímala, ale jinak chtěla, aby to uměli jako všichni, no.“ (Studentka 11)

Jako řešení překonání obtížnosti tématu chemické reakce považují učitelé navýšení časové dotace pro tento tematický celek (Coufalová, 2022). Dle výpovědi studentů a jejich výsledků ve vyčíslování se to nejeví jako vhodný způsob. Přestože se dle jejich názoru věnovalo tomuto tématu velké množství času, studenti chybovali i u jednoduchých rovnic (na úrovni 2).

Žádný ze studentů neuvedl, že by pro vyčíslování chemických rovnic upřednostnil prostředí appletu před svým naučeným postupem bez jeho využití. Z výpovědi studenta 3 lze vyčíst jistou míru skepse a kontroverzního přístupu.

S3: *„Jsem zvyklý vlastně na papíře, kdy prostě věci umažu nebo škrtnu, když mi nějak nesedí...“*

V: *„Zmiňoval jste, můžete umazat. Tady přece klikat šipkou dolů, ne?“*

S3: *„No, ale přece jenom já jsem v těchto věcech ještě starší generace.“*

Jako jedno z pravidel, které respondenti v průběhu think-aloud a rozhovoru zmínili, je ponechání vyčíslování atomů vodíku a kyslíku až na konec. Toto pravidlo bylo uvedeno celkem v šesti případech. Studenti uváděli, že toto pravidlo získali zejména z výuky ve škole. Jedna studentka uvedla, že se jedná o její vlastní naučené pravidlo

Stejné pravidlo uvedli studenti vysoké školy i v rámci jiné studie (Nyachwaya a kol., 2014). Studenti v této studii nedokázali zdůvodnit využití pravidla, pouze ho převzali z předchozí výuky.

Naopak v rámci tohoto výzkumu někteří respondenti zdůvodňovali, že vyčíslování atomů vodíku a kyslíku je potřeba nechat až nakonec, jelikož se vyskytují ve většině látek. Další dva studenti tyto prvky označili přímo za „zlobivé“, což nevysvětluje podstatu využití daného pravidla. Navíc lze zaznamenat přisuzování „lidských“ vlastností částicím stejně jako např. ve studii Nyachwaya a kol. (2014). Příklad zdůvodnění uplatňovaného algoritmu lze vidět ve výpovědi studentky 5 níže:

„Jakože to není kyslík a vodík. Ty jsou tam hodně často, kolikrát se opakují, že jsou v několika těch molekulách. Takže většinou téma nezačínám, protože mi to přijde těžší. Vyčíslovat kyslíky,

když je mám obsažený v každém tom produktu a v té výchozí látce, to je neefektivní pro mě.“
(Studentka 5)

Pět studentů uvedlo, že by při vyčíslování postupovalo podle změny oxidačních čísel. Dva studenti při popisu postupu zmínili, že tento přístup chtěli využít i při vyčíslování rovnic pomocí appletu, ale vzhledem k nemožnosti si oxidační čísla zapsat, nešlo tento přístup uplatnit. Jako další uplatňovaný princip při vyčíslování bylo dvěma studenty zmíněno, že by si pod sebe vypsali počet všech atomů vystupujících v rovnici pro větší přehlednost. Jedná se vlastně o princip, který přímo nabízí prostředí appletu, když při každém zvýšení stechiometrického koeficientu dojde k zobrazení počtu konkrétních modelů. Jak ale vyplynulo z analýzy postupů při vyčíslování, studenti tímto způsobem sub-mikro reprezentace nevyužili:

„Nebo si vypisuju právě třeba ty počty molekul, že si napíšu, že mám třeba nalevo šestkrát O, ne O₂, ale O, aby mi to vlastně jako nepletlo, že musím ještě donásobovat ty počty.“ (Student 3)

4.10 Souhrn výsledků

Výsledky tohoto výzkumu odhalují nedostatky studentů v porozumění konceptům částicového složení hmoty, ve schopnosti využívat chemické reprezentace a ve vyčíslování chemických rovnic. Výsledkům o základních chemických konceptech vycházejícím z pretestů se podrobně věnovala předchozí práce autorky (Hamerská, 2023). Tato práce byla zaměřena na výsledky studentů v souvislosti s vyčíslováním chemických rovnic.

Nurrenbern a Pickering (1987) poukazují na odlišnosti mezi schopností vyčíslovat rovnice a konceptuálním porozuměním tomuto tématu. To, že student dokázal vyčíslit rovnici, neznamenalo, že by rozuměl tomu, co chemická rovnice znázorňuje na sub-mikro úrovni. Netýká se to jen konceptu chemických rovnic, ale i dalších základních chemických konceptů (Nakhleh, 1992).

Výsledky této diplomové práce potvrzují zmíněná zjištění (Nakhleh, 1992; Nurrenbern & Pickering, 1987). Někteří studenti s nízkými výsledky v pretestech se zařadili ke studentům s vysokou úspěšností ve vyčíslování. Naopak pouze jeden respondent, který patřil k nejlepším v pretestech, nedosáhl uspokojivého výsledku při porovnání úspěšnosti ve vyčíslování rovnic. Ukazuje se, že se jedná o dvě odlišné disciplíny. Je nutné ale poznamenat, že téměř polovina respondentů měla výsledky vyrovnané ve všech částech výzkumu.

V tomto výzkumu vyčísli všechny chemické rovnice bezchybně méně než polovina studentů a to přesto, že se jednalo o jednodušší rovnice, než jaké jsou uvedeny ve středoškolských učebnicích chemie v kapitolách zabývajících se vyčíslováním rovnic

Analýzou získaných dat a postupů byly zjištěny některé aspekty související s úspěšností společné více respondentům.

Rusek a kol. (2022) rovněž poukazují na slabé výkony studentů prvního ročníku VŠ ve vyčíslování jednoduchých chemických rovnic. Dle výsledků jejich výzkumu zaměřeného na chemické výpočty patřily právě příklady vycházející z vyčíslování rovnic mezi ty méně úspěšné. Mezi důvody, proč studenti selhávali, patřila neschopnost, jak rovnici vyčíslit, tak i porozumění konceptu (Rusek a kol., 2022).

Jednou z příčin nízké úspěšnosti studentů ve vyčíslování rovnic jsou jejich matematické dovednosti, přestože jsou k jejich řešení vyžadovány pouze základní matematické operace jako sčítání a násobení (Rychtera a kol., 2020). Při analýze postupů studentů se ukázalo jako problematické zejména hledání společného násobku. Dále byly pozorovány chyby ve sčítání a násobení, když respondenti upravovali nebo kontrolovali poměry atomů.

Bylo zjištěno, že matematické dovednosti představují předpoklad pro úspěšnost v chemii (Williamson & Abraham, 1995). Na základě toho by bylo možné předpokládat, že respondenti, jejichž druhým oborem je matematika, dosáhnou lepších výsledků než ostatní. Tohoto výzkumu se účastnili čtyři respondenti s kombinací chemie a matematika. Jejich úspěšnost ve vyčíslování rovnic za využití appletu byla rozdílná. Dvě studentky patřily mezi respondenty se 100% úspěšností ve vyčíslování. Jedna studentka ztratila 2 body a poslední z nich patřila ke studentům, kterým se ve vyčíslování rovnic nedařilo. Plného počtu bodů dosáhli rovněž tři další studenti, kteří matematiku jako druhý obor nestudovali. Tento faktor se tedy neprokázal. Je ovšem nutné vzít v potaz nízký počet respondentů.

Velký význam na úspěšnost měla závěrečná kontrola chemické rovnice před jejím vyhodnocením. Obecně vyplývá, že studenti, kteří si poměry všech atomů ve vyčíslené rovnici zkontrolovali, měli větší pravděpodobnost, že byla rovnice vyčíslena správně. Přesto se u čtyř studentů ukázalo, že i přes tuto kontrolu byla rovnice vyčíslena nesprávně. To opět poukazuje na špatné algebraické schopnosti těchto studentů.

S úspěšností ve vyčíslování byla porovnávána doba řešení nebo počet přechodů, které při vyčíslování museli respondenti udělat. Počet sakád a doba řešení byly navzájem přímo úměrné. Získané hodnoty jsou rozlišitelné do třech kategorií. Ve středu se nachází hodnoty optimální pro úspěšné vyčíslení rovnice. Hodnoty nižší ukazují na nedostatečný počet přechodů pro vyčíslení, a proto byly tyto pokusy neúspěšné. V těchto případech studenti často sami nevěděli, že bylo jejich vyčíslení nesprávné. Hodnoty vyšší patřili jak úspěšným,

tak neúspěšným pokusům. V těchto pokusech se studenti dlouho snažili rovnici vyčíslit a najít pro to vhodný princip. V úspěšných případech studenti vyčíslovali tak dlouho, dokud na správný výsledek nepřišli. Neúspěšní buď nebyli schopni identifikovat, že jejich verze vyčíslení není správná, nebo viděli, že jejich postup stále k výsledku nevede a vyčíslování rovnice vzdali.

Počet kroků může napovídat o potřebném počtu myšlenkových operací nezbytných k vyčíslení rovnice. Tyto myšlenkové operace se odehrávají v pracovní paměti, která má omezenou kapacitu (Johnstone, 1983). Podle Johnstona a El-Banna (1986) úspěšnost při řešení chemických úloh koreluje s kapacitou pracovní paměti. Problém nastává, pokud počet kroků k řešení úlohy kapacitu překročí. Vyčíslování chemických rovnic se sestává ze sledu velkého množství kroků. Pro rovnici reakce s podvojnou záměnou je potřeba udělat na 40 kroků, což je pro žáky vysoký počet (Bílek a kol., 2018). Johnstone dodává, že je při postupu rozdíl mezi učitelem a žákem, nebo také expertem a začátečníkem. Učitel dokáže některé kroky seskupit dohromady, čímž se jejich počet významně sníží. Tyto dovednosti začátečníci ještě nemají, a tak u nich při řešení té samé úlohy dojde k přeplnění pracovní paměti (Johnstone, 1984). Vliv úrovně mentální kapacity byl pozorován i přímo v souvislosti s vyčíslováním rovnic pomocí metody označované jako metoda vzhledem (inspection method) nebo metoda pokus-omyl (trial and error method). Tato metoda se ukázala jako neúspěšná, pokud byl počet kroků vyšší než mentální kapacita jedince (Niaz & Lawson, 1985).

Uvedená metoda byla využívána studenty i při vyčíslování rovnic v prostředí appletu. Je možné se domnívat, že neúspěch ve vyčíslování mohl být způsoben nízkou kapacitou pracovní paměti studentů. Tento faktor však nebyl ve výzkumu sledován. Dále mohlo jít o neschopnost seskupit některé kroky při řešení rovnic dohromady. To bylo pozorováno u studentů, kteří vyčíslovali jednotlivé prvky postupně a nedokázali hledat společný násobek pro více z nich. Jedná se ale zároveň o matematickou dovednost.

Všechny výše zmíněné aspekty se projevovaly v rozdílné míře v rámci jednotlivých úrovní obtížnosti chemických rovnic, ale i v rámci pořadí rovnic jedné úrovně. Samotná úspěšnost ve vyčíslování byla vyšší u rovnic úrovně 2 než úrovně 3. Rovněž byl získaný počet bodů vyšší u druhých rovnic v rámci jedné úrovně oproti rovnicím prvním. Doba řešení a počet kroků byly naopak vyšší pro úroveň 3 a pro první rovnice v pořadí. Rozdíl mezi úrovněmi poukazuje na identifikátory obtížnosti vyčíslovaných rovnic. Odlišnosti mezi prvními a druhými rovnicemi jedné úrovně pak ukazují na schopnost studentů pochopit základní principy

vyčíslování, které poté mohli uplatnit na základě předchozí zkušenosti snáze (např. využití vyšší hodnoty stechiometrického koeficientu).

Samotný využitý počet sakád by bylo možné využít jako prediktor vhodného postupu při zapojení eye-trackingu a appletu v budoucnu. Pokud by počet přechodů při vyčíslování odpovídal optimálnímu počtu sakád pro danou úroveň, zůstala by funkčnost appletu stejná. Když by byl počet sakád vyšší než optimum nebo by vyčíslení neproběhlo úspěšně, nabídl by applet v případě další rovnice nápomocné nástroje či signalizace. Tím by se uživatelé postupně osvojili správný postup. Podobný systém zpětné vazby byl navrhnout například pro sledování aktivity studentů při práci s online učebními materiály (Tamim a kol., 2021).

Při popisu postupu zmiňovali studenti algoritmy, které využívají při vyčíslování. Nejčastěji byl takto zmiňován algoritmus ponechání vyčíslování atomů vodíku a kyslíku až na závěr. Přestože někteří studenti toto pravidlo uvedli, při analýze postupu se v několika případech ukázalo, že dle něj nepostupovali. Nyachwaya a kol. (2014) zjistili, že studenti při vyčíslování uplatňují principy, které nedokážou zdůvodnit a vysvětlit. I v rámci výzkumu v této diplomové práci někteří studenti nedostatečně vysvětlili důvod uplatňování dané strategie. V těchto případech se tak jedná pouze o memorované postupy bez souvislosti.

V rámci tohoto výzkumu bylo pomocí eye-trackingového záznamu s doplněním informací z think-aloud sledováno využití prostředí appletu. Applet nabízel ve všech částech zobrazení aktuálního stavu výchozích látek a produktů prostřednictvím modelů. V úvodní části byly navíc dostupné pomocné nástroje v podobě vah zobrazující poměr atomů jednotlivých prvků. Žádná z těchto opor se neprokázala jako užitečná pro postup studentů při vyčíslování. Ukázalo se, že studenti řešili vyčíslování rovnic pouze na základě symbolického zápisu a většina z nich sub-mikro oporu appletu při vyčíslování nezohledňovala. Přestože někteří během řešení fixovali modely významnou dobu, nenapomohly jim k vyčíslení rovnice. Prostředí appletu nepřispělo k lepším výsledkům respondentů při vyčíslování. Sami by raději využívali k vyčíslování tužku a papír.

Jako důvody nevyužívání sub-mikro opory byla identifikována neznalost prostředí appletu a jeho funkčnosti nebo celkově neznalost a z toho vyplývající neporozumění sub-mikro úrovni reprezentací.

Zajímavé je, že dva respondenti uvedli, že by při vyčíslování svým standardním způsobem měli potřebu vypsát si počty atomů jednotlivých prvků u výchozích látek a u produktů, což odpovídalo funkci appletu v oblasti se sub-mikro reprezentacemi. Prostředí appletu

ale tímto způsobem k řešení nevyužili. Toto zjištění poukazuje na to, že studenti za vyčíslováním rovnic vidí pouze počítání s chemickými symboly, nikoliv počítání sub-mikro částic.

Studenti uváděli, že se s modely při výuce vyčíslování rovnic nesetkaly. Co se týká neznalosti sub-mikro reprezentací v souvislosti s tématem chemické reakce, jedny z možných příčin lze hledat v učebnicích. Například analýza tématu redoxních reakcí v asijských učebnicích odhalila nízké zastoupení reprezentací na sub-mikro úrovni (Chen a kol., 2019). Ani v rámci jiných témat v učebnicích nepřevažuje sub-mikro úroveň nad ostatními reprezentacemi (srov. Chlumecká, 2021; Krumlová, 2022). Vzhledem k tomu, že se s nimi žáci málo setkávají, není pro ně běžné s nimi pracovat. O kladení důrazu na numericky založené úlohy a upozad'ování sub-mikro úrovně v chemii hovoří i Davidowitz a Chittleborough (2009). Těmito důvody lze vysvětlit nevyužívání sub-mikro opory studenty při vyčíslování rovnic v appletu.

V pretestech tohoto výzkumu se ukázala nižší schopnost pracovat se sub-mikro reprezentacemi a porozumění jim zejména u neúspěšných, ale i u částečně úspěšných řešitelů (Hamerská, 2023). U studentky 5 se na základě think-aloud ukázalo, že při vyčíslování rovnic v appletu nedokázala přiřadit sub-mikro reprezentace ke vzorcům v rovnici. O problémech s propojováním symbolického zápisu a sub-mikro reprezentací vypovídají i výsledky v jiných výzkumech (např. Davidowitz & Chittleborough, 2009; Kern a kol., 2010; Slapničar a kol., 2018; Yaroch, 1985).

Vzhledem k tomu, že k porozumění chemickým konceptům je potřeba propojovat všechny tři typy reprezentací (Kozma & Russell, 1997), je zřejmé, že je ve výuce tématu chemických reakcí nutné zapojovat i ostatní reprezentace a nezaměřovat se zejména na symbolickou rovinu reprezentací. Tím by mohly být potíže studentů s chemickými reprezentacemi, které byly identifikovány v rámci tohoto výzkumu, eliminovány.

5 Implikace do výuky

Na základě výzkumných zjištění je možné formulovat opatření pro výuku chemie. Vzhledem k tomu, že výzkumný vzorek se sestával ze studentů prvního ročníku učitelství chemie, je možné jejich výsledky v jednotlivých částech výzkumu považovat za produkt výuky chemie na ZŠ, odpovídajícím stupni nižších gymnázií a na SŠ. Tito studenti mají zároveň před sebou vysokoškolské studium v oblasti chemie a chemického vzdělávání. Počáteční vysokoškolské kurzy by tak měly navazovat na jejich stávající schopnosti. Implikace proto směřují na výuku chemie jak v sekundárním vzdělávání, tak na vysokých školách.

Výuka chemických rovnic na sekundárním stupni vzdělávání by měla být součástí výuky konceptu chemických reakcí a považována za prostředek jejich zápisu namísto, aby se vyčíslování chemických rovnic stalo samostatným tématem, kterému je ve výuce věnováno až příliš velké množství času (Gorman, 1981; Rusek, 2013). Samotné vyčíslování rovnic nepředstavuje schopnost, která by nacházela v běžném životě praktické využití. A proto by mu neměl být přikládán ve výuce chemie v sekundárním vzdělávání takový význam, jako je stále zprostředkováno v obsahu učebnic, a tedy i ve výuce. Je možné uvažovat jeho vyřazení z všeobecné výuky a zařazení pouze pro ty žáky, kteří mají ambice dalšího studia chemie (např. ve výběrovém semináři). S podobnou myšlenkou přichází i Rusek a kol. (2022) pro téma chemických výpočtů, které má podobný charakter. Vyčlenění těchto témat by mohlo napomoci vyšší oblíbenosti chemie jako předmětu u žáků, což by mohlo mít dopad i na vyšší počet studentů v chemickém vzdělávání na VŠ.

Studenti ve vyčíslování nedosáhli požadované úrovně výstupů dle středoškolských učebnic. Tento výsledek je o to více alarmující, že vzorek respondentů byl tvořen studenty, kteří si zvolili chemii jako svůj obor. Bylo by možné očekávat, že výsledky všech absolventů SŠ by byly ještě horší. I přes to, že je vyčíslování chemických rovnic věnován vysoký počet hodin chemie. To rovněž podporuje myšlenku vyřazení tohoto tématu z kurikula nebo alespoň jeho redukce. Tím by se uvolnil ve výuce prostor pro řešení centrálních myšlenek chemie, tzv. *big ideas* (viz Atkins, 1999), což by mohlo rovněž podpořit vyšší zájem o chemii.

Zjištění ohledně dosažené úrovně studentů by měly vzít v potaz vysoké školy pro úpravu obsahu úvodních chemických předmětů. Vysoké školy nemohou počítat, že nastupující studenti ze středních škol bez problémů plynule naváží na předpokládané výstupy dle středoškolského kurikula v podobě učebnic. V úvodních předmětech na VŠ by bylo vhodné začínat od úrovně nižší a tu postupně rozšiřovat na požadovanou úroveň vysokoškolského studia. Tímto je možné

zamezit potížím, které se v těchto úvodních předmětech vyskytují a jsou často příčinou tzv. drop-outu studentů (Williamson a kol., 2020).

Pro respondenty tohoto výzkumu představovalo vyčíslování chemických rovnic uplatnění jejich naučených algoritmických postupů a řídili se při něm pouze podle symbolického zápisu. Sub-mikro opora pro ně nepředstavovala pomoc. Pro výuku chemie je všeobecně nutné, aby se na témata nahlíželo komplexně jako na koncepty. U chemických rovnic to znamená porozumění zápisu, úlohy, kterou zápis má a toho, co znázorňuje – tedy i jeho významu na sub-mikro úrovni; a porozumění zákonu zachování hmotnosti. Proto je nutné zapojení sub-mikro reprezentací do výuky, a to jak ve výuce v sekundárním vzdělávání, tak i ve výuce na vysoké škole. Zapojením sub-mikro reprezentací bude posíleno právě porozumění chemickým rovnicím jako konceptu. Využitý applet *Balancing Chemical Equations* se nabízí jako jeden z vhodných prostředků k tomuto účelu. Další aspekt (limitující reaktant) nabízí applet *Reactants, Products and Leftovers*¹ dostupný na stejné doméně. K propojení symbolické a sub-mikro úrovně mohou sloužit i typově podobné úlohy jako byly využity ve výzkumech sledujících schopnosti žáků nebo studentů v této oblasti (např. Kelly a kol., 2010; Kruse & Roehrig, 2005; Nurrenbern & Pickering, 1987; Slapničar a kol., 2018). Úroveň obtížnosti lze u všech těchto způsobů upravit dle stupně vzdělávání.

¹ <https://phet.colorado.edu/en/simulations/reactants-products-and-leftovers>

6 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala mezi žáky neoblíbeným a za obtížné považovaným tématem vyčíslováním chemických rovnic. Jedná se o část výzkumu navazující na předchozí bakalářskou práci autorky, ve které bylo analyzováno porozumění studentů konceptům v oblasti částicového složení hmoty a jejich schopnost pracovat s reprezentacemi s důrazem na chemické rovnice. Celý výzkum tak umožňuje zodpovědět otázku, zda tyto znalosti a schopnosti mají vliv na úspěšnost ve vyčíslování chemických rovnic.

K získání dat pro tuto část výzkumu byla využita metoda eye-trackingu kombinovaná s retrospektivním think-aloud a rozhovory. Využití kombinace těchto metod se jeví jako vhodné pro analýzu postupů studentů při vyčíslování chemických rovnic v appletu.

Ze zjištění výzkumu vyplývá, že porozumění chemickým rovnicím jako konceptu nepodmiňuje úspěšnost ve vyčíslování chemických rovnic. Lze tak hovořit o dvou různých disciplínách. Vyrovnané výsledky ve všech částech sledovaných ve výzkumu byly zaznamenány u méně než poloviny respondentů.

Na základě výsledků je možné konstatovat, že více než polovina studentů má nižší schopnost vyčíslovat chemické rovnice, než jakou vyžadují středoškolské učebnice. A to i přes to, jaké množství času ve výuce chemie je věnováno vyčíslování rovnic. Díky analýze postupů byly identifikovány problémy studentů při vyčíslování, které mohou ovlivňovat jejich úspěšnost – potíže při uplatňování základních matematických dovedností (společný násobek, sčítání, násobení), vynechání závěrečné kontroly, nutnost využití vyšších hodnot stechiometrických koeficientů.

Vzhledem k přístupu studentů k vyčíslování chemických rovnic lze jejich postup vnímat pouze jako řešení matematických rovnic, ve kterých vystupují chemické symboly. Téma chemických rovnic je jak studenty, tak i podle přístupů ve výuce považováno za samostatné téma namísto toho, aby bylo součástí konceptu chemických reakcí a vnímáno jako způsob jejich vyjádření na symbolické úrovni.

Dle výzkumných zjištění byly formulovány implikace pro výuku chemie v sekundárním vzdělávání a na VŠ. Ve výuce by měl být kladen důraz zejména na konceptuální porozumění tématu včetně schopnosti pracovat s chemickými reprezentacemi. Pro výuku chemických rovnic by měla být využívána i jiná než symbolická úroveň. Byl rovněž představen návrh vyřazení nebo výrazného omezení tématu z chemického sekundárního vzdělávání. Výsledky výzkumu mohou přinést podstatné informace i vysokým školám pro přizpůsobení obsahu

chemických předmětů s ohledem na vyskytující se problémy související s chemickými rovnicemi a jejich vyčíslováním.

Výsledky výzkumu pak mají mít velký význam zejména pro vzdělávání budoucích učitelů chemie. Učitelé chemie musí bezpečně rozumět konceptům, které předávají ve výuce žákům, aby jim koncepty dokázali vysvětlit a nedocházelo ke vzniku miskonceptů nebo k jejich přenosu na žáky.

Jako jeden z limitů výzkumu je možné uvést nízký počet respondentů, který sice umožnil podrobnou analýzu postupů, ale výsledky není možné generalizovat. Budoucí výzkumy by mohly na tento navázat a věnovat se stejnému tématu u většího množství respondentů.

Další limit představuje využitý applet, a to konkrétně jeho funkce náhodného generování rovnic. Postupy studentů proto není možné mezi sebou tak dobře porovnávat, jako kdyby všichni řešili stejné rovnice v totožném pořadí. Za výhodu jeho využití je možné ovšem uvést, že se jedná o veřejně dostupný applet, a proto je možné jeho využití jak ve výuce, tak i v jiných výzkumech. Ve výsledcích tohoto výzkumu bylo obtížné zhodnotit využití prostředí appletu studenty, jelikož, jak uváděli, na něj nebyli zvyklí. Pro zhodnocení vlivu appletu na schopnost vyčíslovat rovnice by další výzkumy mohly realizovat komparaci výuky, která by stavěla na jeho využívání a propojení sub-mikro a symbolických reprezentací, s výukou, která by byla vedena tradiční formou.

Použitá literatura

- Ahthee, M., & Varjola, I. (1998). Students' understanding of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 20(3), 305-316. <https://doi.org/10.1080/0950069980200304>
- Ainsworth, S., & Van Labeke, N. (2002). Using a Multi-Representational Design Framework to Develop and Evaluate a Dynamic Simulation Environment. International workshop on Dynamic Visualizations and Learning, Tübingen, Germany.
- Akpan, J. P. (2001). Issues Associated with Inserting Computer Simulations into Biology Instruction: A Review of the Literature. *The Electronic Journal for Research in Science and Mathematics Education*, 5(3).
- Al-Kunifed, A. A. (1993). *Investigation of high school chemistry students' concepts of chemical symbol, formula, and equation: Students' prescientific conceptions* [Dizertační práce, Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College].
- Anderson, J. R., Bothell, D., & Douglass, S. (2004). Eye Movements Do Not Reflect Retrieval Processes: Limits of the Eye-Mind Hypothesis. *Psychological Science*, 15(4), 225-231. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00656.x>
- Atkins, P. (1999). Chemistry: the great ideas. *Pure and Applied Chemistry*, 71(6), 927-930.
- Ayres, P., Kalyuga, S., Marcus, N., & Sweller, J. (2005). The conditions under which instructional animation may be effective. International Workshop and Mini-conference, Open University of the Netherlands: Heerlen, The Netherlands.
- Barnes, G. R. (2008). Cognitive processes involved in smooth pursuit eye movements. *Brain and Cognition*, 68(3), 309-326. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.020>
- Beesley, T., Pearson, D., & Le Pelley, M. (2019). Eye Tracking as a Tool for Examining Cognitive Processes. In G. Foster (Ed.), *Biophysical Measurement in Experimental Social Science Research* (ss. 1-30). Academic Press.
- Beneš, P., Janoušek, R., & Novotný, M. (2009). Hodnocení obtížnosti textu středoškolských učebnic. *Pedagogika*, 3, 291-297.
- Beneš, P., Pumpr, V., & Banýr, J. (2003). *Základy praktické chemie 1: pro 8. ročník základní školy* (Vol. 2). Fortuna.
- Beneš, P., Pumpr, V., & Banýr, J. (2004). *Základy chemie 1 pro 2. stupeň základní školy, nižší ročníky víceletých gymnázií a střední školy* (Vol. 3). Fortuna.
- Bílek, M., Nodzyńska, M., Kopek-Putała, W., & Zimak-Piekarczyk, P. (2018). Balancing chemical equations using sandwich making computer simulation games as a supporting teaching method. *Problems of Education in the 21st Century*, 76(6), 779.
- Blake, C., & Scanlon, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. *Journal of computer assisted learning*, 23(6), 491-502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00239.x>
- Blascheck, T., Kurzhals, K., Raschke, M., Burch, M., Weiskopf, D., & Ertl, T. (2017). Visualization of eye tracking data: A taxonomy and survey. *Computer Graphics Forum*, 36(8), 260-284. <https://doi.org/10.1111/cgf.13079>
- Bojko, A. (2013). *Eye Tracking the User Experience: A Practical Guide to Research*. Rosenfeld Media.
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (ss. 11-29). Springer.
- Bunce, D. M., & Gabel, D. (2002). Differential effects on the achievement of males and females of teaching the particulate nature of chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 911-927. <https://doi.org/10.1002/tea.10056>

- Carpenter, Y.-y., Moore, E. B., & Perkins, K. K. (2016). ConfChem conference on interactive visualizations for chemistry teaching and learning: Using an interactive simulation to support development of expert practices for balancing chemical equations. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1150-1151. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00546>
- Carter, B. T., & Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology*, 155, 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010>
- Çelikkiran, A. T. (2020). Examination of Secondary School Students' Ability to Transform among Chemistry Representation Levels Related to Stoichiometry. *International Journal of Progressive Education*, 16(2), 42-55. <https://doi.org/10.29329/ijpe.2020.241.4>
- Coufalová, Š. (2022). *Chemické reakce ve výuce chemie na SŠ* [Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, Pedagogická fakulta]. Plzeň.
- ČŠI. (2017). *Využívání digitálních technologií v mateřských, základních, středních a vyšších odborných školách* https://www.csicr.cz/html/tz_digitechnologie/html5/index.html?&locale=CSY
- Čtrnáctová, H., & Zajíček, J. (2010). Současné školství a výuka chemie v České republice. *Chemické listy*, 104(8), 811-818.
- Dale, L. G. (1970). The growth of systematic thinking: Replication and analysis of Piaget's first chemical experiment. *Australian Journal of Psychology*, 22(3), 277-286. <https://doi.org/10.1080/00049537008254585>
- Davidowitz, B., & Chittleborough, G. D. (2009). Linking the Macroscopic and Sub-microscopic Levels: Diagrams. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education*. Springer.
- De Jong, O., & Taber, K. S. (2014). The Many Faces of High School Chemistry. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (Vol. 2, ss. 457-480). Routledge.
- De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- Devetak, I., & Glažar, S. A. (2010). The Influence of 16-year-old Students' Gender, Mental Abilities, and Motivation on their Reading and Drawing Submicrorepresentations Achievements. *International Journal of Science Education*, 32(12), 1561-1593. <https://doi.org/10.1080/09500690903150609>
- Dong, W., Zheng, L., Liu, B., & Meng, L. (2018). Using Eye Tracking to Explore Differences in Map-Based Spatial Ability between Geographers and Non-Geographers. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/ijgi7090337>
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye tracking methodology: Theory and practice* (Vol. 3). Springer.
- Finegold, D., & Notabartolo, A. S. (2010). 21st century competencies and their impact: An interdisciplinary literature review. 56. https://hewlett.org/wp-content/uploads/2016/11/21st_Century_Competencies_Impact.pdf
- Friedman, L. (1995). The Space Factor in Mathematics: Gender Differences. *Review of Educational Research*, 65(1), 22-50. <https://doi.org/10.3102/00346543065001022>
- Fyfe, E. R., McNeil, N. M., Son, J. Y., & Goldstone, R. L. (2014). Concreteness fading in mathematics and science instruction: A systematic review. *Educational psychology review*, 26(1), 9-25. <https://doi.org/10.1007/s10648-014-9249-3>
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4). <https://doi.org/10.1021/ed076p548>

- Gabel, D. L. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193-194.
<https://doi.org/10.1021/ed070p193>
- Geschwinder, J., Růžička, E., & Růžičková, B. (1995). *Technické prostředky ve výuce*. Univerzita Palackého.
- Gilbert, J. K., Reiner, M., & Nakhleh, M. (2007). *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. Springer.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (Vol. 4). Springer.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 5-14. <https://doi.org/10.1039/C1RP90003J>
- Goldstein, D., Haldane, D., Mitchell, C. J. M., & cognition. (1990). Sex differences in visual-spatial ability: The role of performance factors. *Memory & Cognition*, 18(5), 546-550.
<https://doi.org/10.3758/BF03198487>
- Goldstone, R. L., & Son, J. Y. (2005). The transfer of scientific principles using concrete and idealized simulations. *The Journal of the learning sciences*, 14(1), 69-110.
https://doi.org/10.1207/s15327809jls1401_4
- Gorman, M. (1981). Reflections on Chemical Equations. *School Science and Mathematics*, 81(2), 93-96.
- Haidar, A. H., & Abraham, M. R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 919-938. <https://doi.org/10.1002/tea.3660281004>
- Halpern, D. F. (2013). *Sex differences in cognitive abilities*. Psychology Press.
- Hamerská, L. (2023). *Porozumění základním chemickým konceptům a příslušným reprezentacím se zaměřením na chemické rovnice studenty učitelství chemie na počátku jejich studia* [Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta]. Praha.
- Hansen, S. J. R. (2014). *Multimodal study of visual problem solving in chemistry with multiple representations* [Dissertation, Columbia University].
- Harezlak, K., & Kasproski, P. (2018). Application of eye tracking in medicine: A survey, research issues and challenges. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 65, 176-190. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2017.04.006>
- Havlíčková, V., & Bílek, M. (2018). Virtuální pitvy jako efektivní podpora experimentální výuky biologie. *Media4u Magazine*, 15(3).
- Hesse, J. J., & Anderson, C. W. (1992). Students' Conceptions of Chemical Change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 277-299.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660290307>
- Hinton, M. E., & Nakhleh, M. B. (1999). Students' microscopic, macroscopic, and symbolic representations of chemical reactions. *The Chemical Educator*, 4(5), 158-167.
<https://doi.org/10.1007/s00897990325a>
- Hodson, D. (1990). A Critical Look at Practical Work in School Science. *School Science Review*, 71(256), 33-40.
- Höfer, G., & Svoboda, E. (2005). *Některé výsledky celostátního výzkumu: Vztah žáků ZŠ a SŠ k výuce obecně a zvláště pak k výuce fyziky* Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 2, Srní.

- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science education*, 88(1), 28-54.
<https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Huvarová, M. (2010). *Nejpoužívanější středoškolské učebnice chemie na gymnáziích* [Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta]. Olomouc.
- Hyönä, J. (2010). The use of eye movements in the study of multimedia learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 172-176. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.013>
- Chandrasegaran, A., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293-307.
<https://doi.org/10.1039/B7RP90006F>
- Chen, X., de Goes, L. F., Treagust, D. F., & Eilks, I. (2019). An analysis of the visual representation of redox reactions in secondary chemistry textbooks from different chinese communities. *Education sciences*, 9(1), 42.
<https://doi.org/10.3390/educsci9010042>
- Childs, P. E. (2020). *Building a good foundation: teaching the basics of Chemistry*. ChemEd, Cork.
- Childs, P. E., & Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(3), 204-218.
<https://doi.org/10.1039/B914499B>
- Chittleborough, G. (2014). The Development of Theoretical Frameworks for Understanding the Learning of Chemistry. In I. Devetak & S. A. Glažar (Eds.), *Learning with Understanding in the Chemistry Classroom* (ss. 25-40). Springer.
- Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2002). Constraints to the development of first year university chemistry students' mental models of chemical phenomena. *Teaching and Learning Forum: Focusing on the student*, Perth, Edith Cowan University.
- Chlumecká, L. (2021). *Analýza vizuálních reprezentací zařazených v tematickém celku Organické sloučeniny v učebnicích chemie pro základní školy* [Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta]. Praha.
- Jaber, L. Z., & BouJaoude, S. (2012). A macro–micro–symbolic teaching to promote relational understanding of chemical reactions. *International Journal of Science Education*, 34(7), 973-998. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.569959>
- Jiang, T., Potters, J., & Funaki, Y. (2016). Eye-tracking social preferences. *Journal of Behavioral Decision Making*, 29(2-3), 157-168. <https://doi.org/10.1002/bdm.1899>
- Johnson, E. S. (1984). Sex Differences in Problem Solving. *Journal of Educational Psychology*, 76(6), 1359-1371. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.76.6.1359>
- Johnstone, A. H. (1971). Topic Difficulties in Chemistry. *Education in Chemistry*, 8(6), 212-213,218.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A. H. (1983). Chemical Education Research: Facts, Findings, and Consequences. *Journal of Chemical Education*, 60(11), 968.
- Johnstone, A. H. (1984). New Stars for the Teacher to Steer by? *Journal of Chemical Education*, 61(10).

- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of computer assisted learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry—logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9-15. <https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>
- Johnstone, A. H., & El-Banna, H. (1986). Capacities, demands and processes—A predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 23(3), 80-84.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye Fixations and Cognitive Processes. *Cognitive Psychology*, 8(4), 441-480. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(76\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(76)90015-3)
- Keehner, M., Hegarty, M., Cohen, C., Khooshabeh, P., & Montello, D. R. (2008). Spatial reasoning with external visualizations: What matters is what you see, not whether you interact. *Cognitive Science*, 32(7), 1099-1132. <https://doi.org/10.1080/03640210801898177>
- Kekule, M. (2014). Výzkum pomocí oční kamery ve fyzikálním vzdělávání. *Scientia in educatione*, 5(2), 58-73. <https://doi.org/10.14712/18047106.107>
- Kelly, R. M., Barrera, J. H., & Mohamed, S. C. (2010). An analysis of undergraduate general chemistry students' misconceptions of the submicroscopic level of precipitation reactions. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 113-118. <https://doi.org/10.1021/ed800011a>
- Kern, A. L., Wood, N. B., Roehrig, G. H., & Nyachwaya, J. (2010). A qualitative report of the ways high school chemistry students attempt to represent a chemical reaction at the atomic/molecular level. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 165-172. <https://doi.org/10.1039/C005465H>
- Kiboss, J. K., Ndirangu, M., & Wekesa, E. W. (2004). Effectiveness of a computer-mediated simulations program in school biology on pupils' learning outcomes in cell theory. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 207-213. <https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000031259.76872.fl>
- Kim, J.-H., Park, S.-T., Lee, H., Yuk, K.-C., & Lee, H. (2001). Virtual reality simulations in physics education. *Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning*, 3(2), 1-7.
- Klečka, M. (2011). *Teorie a praxe tvorby učebnic chemie pro střední školy* [Disertační práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta]. Praha.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949-968. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199711\)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199711)34:9<949::AID-TEA7>3.0.CO;2-U)
- Krumlová, E. (2022). *Hodnocení vizuálních reprezentací využitých v učebnicích chemie pro ZŠ v tématech kyselin, zásad a neutralizace* [Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta]. Praha.
- Kruse, R. A., & Roehrig, G. H. (2005). A comparison study: Assessing teachers' conceptions with the chemistry concepts inventory. *Journal of Chemical Education*, 82(8), 1246. <https://doi.org/10.1021/ed082p1246>
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., Lee, M.-H., Chiou, G.-L., Liang, J.-C., & Tsai, C.-C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, 90-115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>
- Larson, L. C., & Miller, T. N. (2011). 21st century skills: Prepare students for the future. *Kappa Delta Pi Record*, 47(3), 121-123. <https://doi.org/10.1080/00228958.2011.10516575>

- Lin, Y. I., Son, J. Y., & Rudd, J. A. (2016). Asymmetric translation between multiple representations in chemistry. *International Journal of Science Education*, 38(4), 644-662. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1144945>
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education*, 14(2), 225-244. <https://doi.org/10.1007/bf03172967>
- Mach, J., Plucková, I., & Šibor, J. (2021). *Chemie 8: Úvod do obecné a anorganické chemie* (Vol. 7). Nakladatelství Nová škola.
- Maňák, J. (2003). *Nárys didaktiky* (Vol. 3). Masarykova Univerzita.
- Marais, P., & Jordaan, F. (2000). Are We Taking Symbolic Language for Granted? *Journal of Chemical Education*, 77(10), 1355. <https://doi.org/10.1021/ed077p1355>
- Mareček, A., & Honza, J. (2005). *Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl* (Vol. 3). Nakladatelství Olomouc.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., & Hubel, D. H. (2004). The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 229-240. <https://doi.org/10.1038/nrn1348>
- Mele, M. L., & Federici, S. (2012). Gaze and eye-tracking solutions for psychological research. *Cognitive Processing*, 13(1), 261-265. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0499-z>
- Mihajlov, M., & Jerman-Blazic, B. (2017). Eye tracking graphical passwords. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, California, USA.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Moore, E. B., Chamberlain, J. M., Parson, R., & Perkins, K. K. (2014). PhET interactive simulations: Transformative tools for teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1191-1197. <https://doi.org/10.1021/ed4005084>
- Moyo, C. (2018). Investigating the Areas of Student Difficulty in Chemistry Curriculum: A Case Study in Qatar. *Texila International Journal of Academic Research*, 5(2), 1-8. <https://doi.org/10.21522/TIJAR.2014.05.02.Art003>
- MŠMT. (2008). *Návrh koncepce rozvoje informačních a komunikačních technologií ve vzdělávání v období 2009-2013* https://www.msmt.cz/uploads/VKav_200/ICT_240609/RV_M_schvalena_koncepce_ma_rack7kempyid.pdf
- MŠMT. (2014). *Strategie digitálního vzdělávání do roku 2020* <https://www.msmt.cz/uploads/DigiStrategie.pdf>
- MŠMT. (2020). *Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+* https://www.msmt.cz/uploads/Brozura_S2030_online_CZ.pdf
- Murray, W. S., Fischer, M. H., & Tatler, B. W. (2013). Serial and parallel processes in eye movement control: Current controversies and future directions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(3), 417-428. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.759979>
- Nakhleh, M. B. (1992). Why Some Students Don't Learn Chemistry: Chemical Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.
- Niaz, M., & Lawson, A. E. (1985). Balancing chemical equations: The role of developmental level and mental capacity. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 41-51. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220104>
- NKÚ. (2019). *Datová příloha ke kontrolnímu závěru 18/18 – Podpora rozvoje digitalizace vzdělávání v České republice*. Retrieved 22. 10. from <https://www.nku.cz/scripts/detail.php?id=10616>

- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science education*, 87(2), 224-240.
<https://doi.org/10.1002/sce.10066>
- Nurrenbern, S. C., & Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508.
<https://doi.org/10.1021/ed064p508>
- Nyachwaya, J. M., Warfa, A.-R. M., Roehrig, G. H., & Schneider, J. L. (2014). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 81-93. <https://doi.org/10.1039/C3RP00114H>
- Obst, O. (2002). Materiální didaktické prostředky. In Z. Kalhous & O. Obst (Eds.), *Školní didaktika*. Portál.
- OECD. (2005). The Definition and Selection of Key Competencies: Executive Summary.
<https://www.oecd.org/pisa/35070367.pdf>
- Piaget, J. (1999). *Psychologie inteligence* (F. Jiránek, Trans.). Portál. (La psychologie de l'Intelligence)
- Plużyczka, M. (2018). The First Hundred Years: a History of Eye Tracking as a Research Method. *Applied Linguistics Papers*, 25(4), 101-116.
<https://doi.org/10.32612/uw.25449354.2018.4.pp.101-116>
- Popelka, S. (2018). *Eye-tracking (nejen) v kognitivní kartografii: praktický průvodce tvorbou a vyhodnocením experimentu*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., Benyon, D., Holland, S., & Carey, T. (1994). *Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley Longman Ltd.
- Pucholt, Z. (2020). Počítačové simulace PhET ve výuce fyziky na gymnáziu. *Matematika–Fyzika–Informatika*, 29(3), 219–229.
- Rahayu, S., & Kita, M. (2010). An Analysis of Indonesian and Japanese Students' Understandings of Macroscopic and Submicroscopic Levels of Representing Matter and Its Changes. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 667-688. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9180-0>
- Räihä, K.-J., Aula, A., Majaranta, P., Rantala, H., & Koivunen, K. (2005). Static Visualization of Temporal Eye-Tracking Data. Human-Computer Interaction-INTERACT 2005: IFIP TC13 International Conference, Rome.
- Rakoczi, G., & Pohl, M. (2012). Visualisation and Analysis of Multiuser Gaze Data: Eye Tracking Usability Studies in the Special Context of e-Learning IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies,
- Rambousek, V., Chvála, R., Nikl, J., Sup, J., Tichý, I., & Zdražil, J. (1989). *Technické výukové prostředky*. Státní pedagogické nakladatelství.
- Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 63-41-M/02 Obchodní akademie*. (2007). NÚOV.
<http://zpd.nuov.cz/RVP/ML/RVP%206341M02%20Obchodni%20akademie.pdf>
- Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. (2017). MŠMT.
https://www.msmt.cz/file/41216_1_1/
- Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. (2021). MŠMT.
<https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2021/07/RVP-ZV-2021.pdf>
- Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506.
<https://doi.org/10.1080/1747021090281646>

- Rusek, M. (2013). *Výzkum postojů žáků středních škol k výuce chemie na základních školách* [Dizertační práce, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta]. Praha.
- Rusek, M., Vojír, K., Bártová, I., Klečková, M., Sirotek, V., & Štrofová, J. (2022). To What Extent do Freshmen University Chemistry Students Master Chemistry Calculations? *Acta Chimica Slovenica*, 69(2), 371-377. <https://doi.org/0.17344/acsi.2021.7250>
- Rychtera, J., Bílek, M., Bártová, I., Chroustová, K., Kolář, K., Machková, V., Sloup, R., Šmídl, M., Štrofová, J., Votrubicová, Š., & Wolfová, R. (2020). *Kritická místa kurikula chemie na 2. stupni základní školy I.* Západočeská univerzita v Plzni.
- Sanders, B., Soares, M. P., & D'Aquila, J. M. (1982). The Sex Difference on One Test of Spatial Visualization: A Nontrivial Difference. *Child Development*, 53(4), 1106-1110. <https://doi.org/10.2307/1129153>
- Serafin, Č. (2019). Inovace výuky aplikací moderních interaktivních a multimediálních pomůcek do výuky. In *CLIL a Multimediální výuka ve vysokoškolském vzdělávání*. Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích.
- Slapničar, M., Tompa, V., Glažar, S. A., & Devetak, I. (2018). Fourteen-year-old students' misconceptions regarding the sub-micro and symbolic levels of specific chemical concepts. *Journal of Baltic Science Education*, 17(4), 620.
- Sliwka, H.-R. (2003). Reform of Chemical Language as a Model for Spelling Reform. *Journal of the Simplified Spelling Society*, 32(1).
- Steindorf, L., & Rummel, J. (2019). Do your eyes give you away? A validation study of eye-movement measures used as indicators for mindless reading. *Behavior Research Methods*, 52, 162-176. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01214-4>
- Stolińska, A., Andrzejewska, M., Błasiak, W., Pęczkowski, P., Rosiek, R., Rožek, B., Sajka, M., & Wcisło, D. (2014). Analysis of saccadic eye movements of experts and novices when solving text tasks. *New Technologies in Science Education*, 21-29.
- Šimek, J., & Bílek, M. (2014). Digitální média ve výuce chemie: analýza vývoje jejich vlivu na znalosti a motivaci žáků. *Biologie, Ekologie, Chémia*, 18(4).
- Škoda, J. (2003). *Od chemofobie k respektování chemizace* [Dizertační práce, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta]. Praha.
- Škoda, J., & Doulík, P. (2021). *Chemie 8: hybridní učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia* (Vol. 2). Fraus.
- Švaříček, R., & Šedřová, K. (2014). *Kvalitativní výzkum v pedagogických vědách*. Portál.
- Taber, K. S. (2009). Learning at the Symbolic Level. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (Vol. 4, ss. 75-105). Springer.
- Tai, R. H., Loehr, J. F., & Brigham, F. J. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International Journal of Research & Method in Education*, 29(2), 185-208. <https://doi.org/10.1080/17437270600891614>
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tamim, H., Sultana, F., Tasneem, N., Marzan, Y., & Khan, M. M. (2021). Class Insight: A Student Monitoring System with Real-time Updates using Face Detection and Eye Tracking. 2021 IEEE World AI IoT Congress (AIIoT), Seattle.
- Tasker, R., & Dalton, R. (2006). Research into practice: visualisation of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research Practice*, 7(2), 141-159. <https://doi.org/10.1039/B5RP90020D>
- Taskin, V., & Bernholt, S. (2014). Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 36(1), 157-185. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.744492>

- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). An Interpretive Examination of High School Chemistry Teachers' Analogical Explanations *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 227-242. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310304>
- Thijs, A., & Van Den Akker, J. (2009). *Curriculum in development*. Netherlands Institute for Curriculum Development.
- Tóthová, M., & Rusek, M. (2022). "Do you just have to know that?" Novice and experts' procedure when solving science problem tasks. *Frontiers in Education*, 7, 858. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.1051098>
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368. <https://doi.org/10.1080/0950069032000070306>
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). *21st century skills: Learning for life in our times*. John Wiley & Sons.
- Trivić, D., & Milanović, V. D. (2018). The macroscopic, submicroscopic and symbolic level in explanations of a chemical reaction provided by thirteen-year olds. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 83(10), 1177-1192. <https://doi.org/10.2298/JSC171220055T>
- Tsaparlis, G. (2009). Learning at the Macro Level: The Role of Practical Work. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (Vol. 4, ss. 109-136). Springer.
- Upahi, J. E., & Ramnarain, U. (2019). Representations of chemical phenomena in secondary school chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 146-159. <https://doi.org/10.1039/C8RP00191J>
- Vacík, J., Anatala, M., Čtrnáctová, H., Petrovič, P., Strauch, B., Šimová, J., & Zemánek, F. (1995). *Chemie (obecná a anorganická) I pro gymnázia* (Vol. 3). SPN.
- Vacík, J., Barthová, J., Pacák, J., Strauch, B., Svobodová, M., & Zemánek, F. (1999). *Přehled středoškolské chemie* (Vol. 4). SPN.
- Valanides, N. C. (1996). Formal reasoning and science teaching. *School Science and Mathematics*, 96(2), 99-107. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1996.tb15818.x>
- VandenPlas, J. R., Herrington, D. G., Shrode, A. D., & Sweeder, R. D. (2021). Use of Simulations and Screencasts to Increase Student Understanding of Energy Concepts in Bonding. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 730-744. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00470>
- Vojří, K., & Rusek, M. (2021). Preferred Chemistry Curriculum Perspective: Teachers' Perception of Lower-Secondary School Textbooks. *Journal of Baltic Science Education*, 20(2), 316-331. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.00>
- Vojří, K., & Rusek, M. (2022). Of teachers and textbooks: lower secondary teachers' perceived importance and use of chemistry textbook components [10.1039/D2RP00083K]. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(4), 786-798. <https://doi.org/10.1039/D2RP00083K>
- Wade, N., & Tatler, B. W. (2005). *The Moving Tablet of the Eye: The Origins of Modern Eye Movement Research*. Oxford University Press.
- Wedel, M., & Pieters, R. (2008). Eye Tracking for Visual Marketing. *Foundations and Trends® in Marketing*, 1(4), 231-320. <https://doi.org/10.1561/17000000011>
- Weiss, E. M., Kemmler, G., Deisenhammer, E. A., Fleischhacker, W. W., & Delazer, M. (2003). Sex differences in cognitive functions. *Personality and Individual Differences*, 35(4), 863-875. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(02\)00288-X](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(02)00288-X)
- Wellington, J. (2003). Using ICT in teaching and learning science. In *Mediating science learning through information and communications technology* (ss. 51-78). Routledge.

- Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534. <https://doi.org/10.1002/tea.3660320508>
- Williamson, V. M., Walker, D. R., Chuu, E., Broadway, S., Mamiya, B., Powell, C. B., Shelton, G. R., Weber, R., Dabney, A. R., & Mason, D. (2020). Impact of basic arithmetic skills on success in first-semester general chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 51-61. <https://doi.org/10.1039/C9RP00077A>
- Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842. <https://doi.org/10.1002/tea.1033>
- Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 449-459. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220507>
- Yerushalmy, M. (1991). Student perceptions of aspects of algebraic function using multiple representation software. *Journal of computer assisted learning*, 7(1), 42-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00223.x>
- Zhu, M., Bao, D., Yu, Y., Shen, D., & Yi, M. (2022). Differences in thinking flexibility between novices and experts based on eye tracking. *17(6)*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269363>
- Zormanová, L. (2014). *Obecná didaktika*. Grada.

Přílohy¹

Příloha 1 – Písemný pretest

Příloha 2 – Eye-trackingový pretest

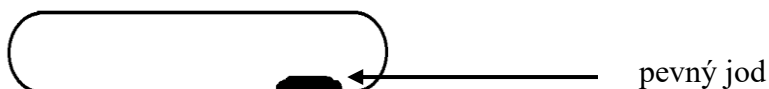
Příloha 3 – Záznamový arch k ET měření

¹ Tyto přílohy již byly publikovány v předchozí bakalářské práci autorky (Hamerská, 2023)

Příloha 1 – Písemný pretest – správné odpovědi jsou podtržené

Pro každou otázku zakroužkujte nejvhodnější odpověď.

1. Do skleněné trubice byl umístěn 1 g pevného jodu a po odstranění veškerého vzduchu byla trubice utěsněna. Celá trubice s pevným jodem vážila 27,0 gramů.



Trubice byla následně zahřívána, dokud se všechny jód neodpařil. Trubice tak byla vyplněna plynným jódem. Celková hmotnost byla:

- a) menší než 26,0 gramů
- b) 26,0 gramů
- c) 27,0 gramů
- d) více než 28,0 gramů

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

2. Která z následujících charakteristik NEVYSTIHUJE sloučeniny?

- a) Mají rozdílné vlastnosti než prvky, ze kterých se skládají.
- b) Jde o čisté látky tvořené dvěma a více prvky.
- c) Jejich různé vzorky mají odlišné vlastnosti.
- d) Lze je zapsat chemickým vzorcem.

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

3. Kterou z uvedených je možné zařadit mezi rovnoměrně promíchané homogenní směsi?

- a) Sloučenina
- b) Prvek
- c) Čistá látka
- d) Roztok

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

4. Doplňte větu tak, aby její význam byl správný.

Chemická vazba je:

- a) skupina atomů, které jsou spojeny dohromady.
- b) základní částice hmoty.
- c) síla, která drží dva nebo více atomů pohromadě.
- d) látka vzniklá chemickým sloučením dvou nebo více atomů.

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

5. Doplňte větu tak, aby její význam byl správný.

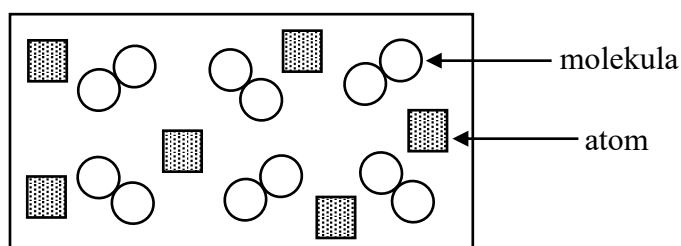
Před i po proběhnutí chemické reakce zůstává zachován:

- a) součet hmotností všech látek účastnících se reakce.
- b) počet molekul všech látek účastnících se reakce
- c) počet atomů prvků účastnících se reakce.
- d) odpověď A a C jsou správné.
- e) odpověď A, B i C jsou správné.

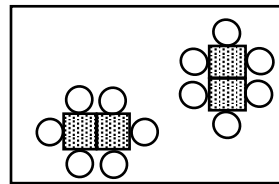
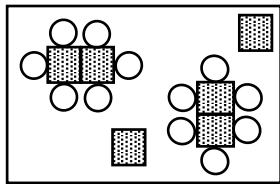
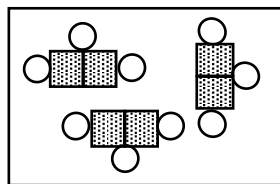
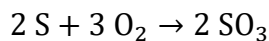
Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

6. Diagram znázorňuje směs atomů S a molekul O₂ v uzavřené nádobě.



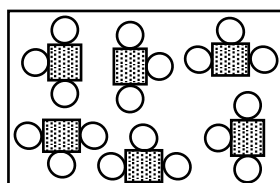
Který z následujících diagramů zobrazuje reálný výsledek reakce poté, co směs v nádobě zreagovala dle rovnice:



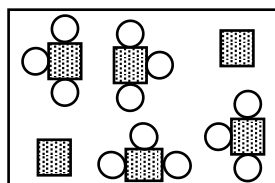
(a)

(b)

(c)



(d)



(e)

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

7. Které z následujících tvrzení o atomech NENÍ pravdivé?

- Jsou složeny z molekul.
- Mohou se slučovat s dalšími atomy.
- Atomy stejného typu tvoří prvky.
- Jsou velmi malé.

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

8. Který z příkladů představuje chemickou přeměnu?

- rozpouštění másla,
- smíchání mléka a kakaového prášku,
- rozbití skla,
- spalování paliva.

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

9. Doplňte větu tak, aby její význam byl správný.

Atom je:

- a) největší částice hmoty.
- b) složený ze sloučenin.
- c) částicí tvořící prvek.
- d) nejmenší částice hmoty.

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

10. Doplňte větu tak, aby její význam byl správný.

Skupina atomů držící pohromadě chemickou vazbou tvoří:

- a) směsi.
- b) molekuly.
- c) roztoky.
- d) energii.

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

11. Doplňte větu tak, aby její význam byl správný.

Sloučenina:

- a) je to samé, co směs.
- b) má stejné vlastnosti jako prvky, ze kterých je složena.
- c) má odlišné vlastnosti než prvky, ze kterých je složena.
- d) je to samé, co molekula.

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

12. Která z uvedených možností je příkladem chemické přeměny?

- a) hoření dřeva
- b) mrznutí vody
- c) ohýbání kancelářské svorky
- d) příprava směsi koření

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

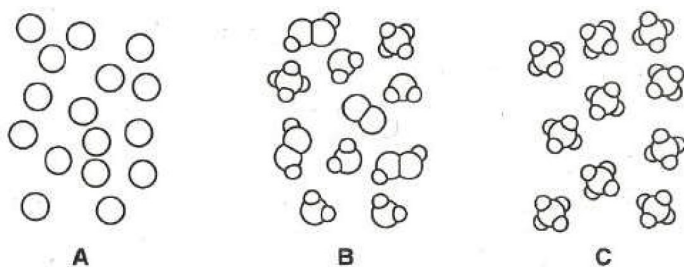
13. Jaká bude hmotnost roztoku, pokud dojde k rozpuštění 1 kg soli v 20 kg vody

- a) 19 kg
- b) 20 kg
- c) 21 kg
- d) více než 21 kg

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

K vyřešení úloh 14 – 16 využijte následující diagramy:



14. Který z výše uvedených diagramů znázorňuje chemicky čistou látku?

- a) Diagramy A, B
- b) Diagramy A, B i C
- c) Pouze diagram A
- d) Diagramy A a C

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

15. Který z výše uvedených diagramů znázorňuje sloučeninu?

- a) Diagram A
- b) Diagram B
- c) Diagram C

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

16. Který z výše uvedených diagramů znázorňuje směs?

- a) Diagram A
- b) Diagram B
- c) Diagram C

Správností svých odpovědi jsem si jistá/ý (zakroužkujte číslo na škále 1 = vůbec, 5 = zcela):

1 – 2 – 3 – 4 – 5

O1: Slovně popište tuto chemickou reakci



Klíč:

C = uhlík

H₂O = voda

CH₄ = methan

CO₂ = oxid uhličitý

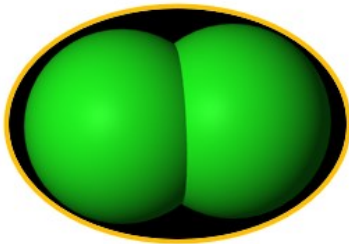
O2: Podívejte se na obrázky a slovně popište reakci.

Sodík, Na



+

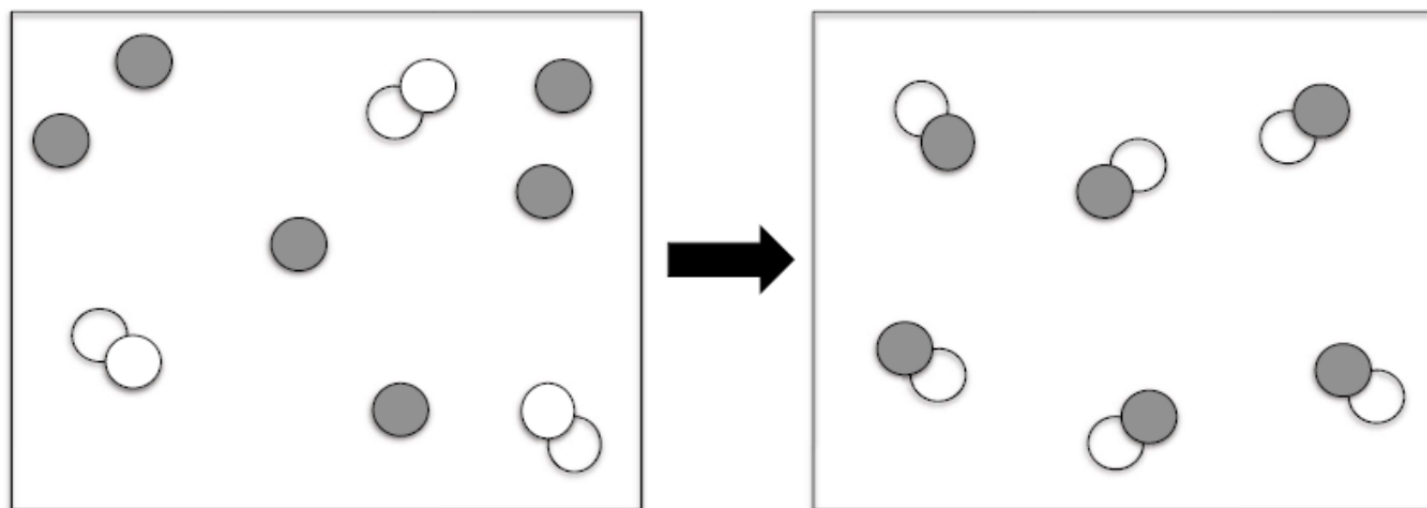
Chlor, Cl₂



Chlorid sodný, NaCl

O3: Slovně popište rovnici reakce plynného vodíku (H_2) s plynným kyslíkem (O_2) za vzniku vody (H_2O).

Q4: Následující diagram ukazuje reakci A s B₂.



Uvedte rovnici této reakce.



Příloha 3 – Záznamový arch k ET měření

Záznamový arch

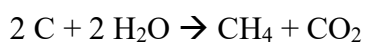
Datum:

Jméno:

Předchozí studium:

Další informace:

Otázka 1:

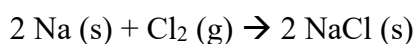


Uvádí spolu s látkami jejich množství? ANO x NE

Jak?

- Molekuly + atomy
- Moly
- Násobek
- Jiné, kombinace:

Otázka 2:



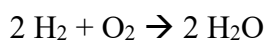
Přesnost popisu reakce

- názvy látek
- popis makro

Pro rozhovor – Pozornost věnuje:

- vzorci
- názvu
- sub-mikro struktura
- makro

Otázka 3:

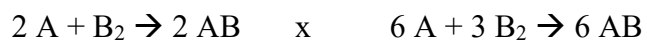


Uvede rovnici vyčíslenou: ANO x NE

- proběhlo vyčíslení správně?
- pokud ne, jak:

Pro rozhovor – pozornost věnuje:

- značkám
- názvům

Otázka 4:

- uveďte jako: $__ A + __ B_2 \rightarrow __ AB$

množství částic:

- počet molekul + atomů
- počet molů
- pouze číslo

PHET simulace

1. Úvod

NH₃

CH₄

2. úroveň

3. úroveň

K rozhovoru:

Které části sledují?

Úspěšnost/rychlost řešení?