Univerzita Karlova

Pedagogická fakulta

Katedra chemie a didaktiky chemie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hodnocení porozumění vybraným chemickým konceptům studenty prvních ročníků vysokých škol

Evaluation of understanding selected chemical concepts by first-year university students

Bc. Eliška Krumlová

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

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

Studijní obor: Chemie se zaměřením na vzdělávání – Matematika se zaměřením na vzdělávání

2025

Odevzdáním této diplomové práce na téma *Hodnocení porozumění vybraným chemickým konceptům studenty prvních ročníků vysokých škol* 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.

V Praze dne 10.4. 2025

Velice ráda bych poděkovala vedoucímu práce doc. PhDr. Martinu Ruskovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, ochotu, trpělivost a čas, který mi při psaní práce věnoval.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu konceptuálního porozumění chemie u studentů 1. ročníku vysokých škol v České republice. Jsou v ní identifikovány silné a slabé stránky v porozumění základním chemickým konceptům. Pro výzkum byly použity specifické úlohy z Chemical Concepts Invertory (CCI), upravené do podoby třívrstvých úloh pro možnosti získání hlubšího porozumění studentským miskoncepcím. Teoretická část práce se nejprve věnuje teorii konceptuálního porozumění a miskoncepcí v chemii, včetně jejich definice, příčin a dopadů na vzdělávací proces. Dále jsou popsány metodické přístupy k identifikaci mylných představ studentů, se zvláštním důrazem na použití třívrstvých úloh. Tato část zahrnuje také přehled dosavadního výzkumu v oblasti konceptuálního porozumění chemie a miskoncepcí. Kromě toho je podrobně popsán vývoj Chemical Concepts Invertory (CCI). Následně jsou definovány cíle práce, metody a výsledky výzkumu. Hlavním cílem bylo zjistit úroveň porozumění chemickým konceptům, jejich schopnost vysvětlit své odpovědi a jejich sebejistotu při odpovídání. Výsledky ukázaly, že studenti měli relativně dobrou schopnost identifikovat správné odpovědi v uzavřených otázkách, avšak potýkali se s obtížemi při formulaci správných a logických argumentů. Kombinace správné odpovědi a správného zdůvodnění byla dosažena méně než polovinou studentů. Z hlediska metakognitivního monitorování byla zjištěna průměrná sebedůvěra studentů, kteří často přeceňovali svou jistotu ve správnost odpovědí. Tato práce přispívá k hlubšímu porozumění konceptuálního porozumění chemie na vysokých školách a zdůrazňuje potřebu zlepšit argumentační schopnosti studentů a jejich hlubší porozumění chemickým konceptům. Výsledky poskytují cenné poznatky pro pedagogickou praxi a mohou vést k inovacím ve výuce chemie, které podpoří lepší porozumění a metakognici studentů.

Klíčová slova

Konceptuální porozumění, miskoncepce, chemické koncepty, třívrstvé úlohy, Chemical Concepts Invertory (CCI)

Abstract

This diploma thesis focuses on analyzing the conceptual understanding of chemistry among first-year university students in the Czech Republic. It identifies both strengths and weaknesses in students' comprehension of fundamental chemical concepts. For the research, selected tasks from the Chemical Concepts Inventory (CCI) were adapted into a three-tier format to enable deeper insight into students' misconceptions. The theoretical part of the thesis first addresses the theory of conceptual understanding and misconceptions in chemistry, including their definitions, causes, and impact on the educational process. It also describes methodological approaches to identifying students' misconceptions, with a special emphasis on the use of three-tier tasks. This section further includes an overview of previous research in the field of conceptual understanding in chemistry and misconceptions, along with a detailed description of the development of the Chemical Concepts Inventory (CCI). The thesis then defines its research objectives, methodology, and results. The main goal was to determine the level of understanding of chemical concepts, students' ability to explain their answers, and their confidence when answering. The results showed that while students had a relatively good ability to identify correct answers in multiple-choice questions, they struggled with formulating correct and logical justifications. Less than half of the students managed to combine a correct answer with a correct explanation. In terms of metacognitive monitoring, the findings revealed an average level of confidence, with students often overestimating the correctness of their answers. This thesis contributes to a deeper understanding of conceptual chemistry knowledge at the university level and highlights the need to improve students' reasoning skills and their deeper understanding of chemical concepts. The results provide valuable insights for educational practice and may inspire innovations in chemistry instruction to enhance students' comprehension and metacognitive skills.

Keywords

Conceptual understanding, misconceptions, chemical concepts, three-tier tasks, Chemical Concepts Inventory (CCI)

Obsah

ÚVOD **7**

1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA **9**

1.1 TEST POROZUMĚNÍ CHEMICKÝM KONCEPTŮM (CHEMICAL CONCEPTS INVENTORY CCI) 9

1.1.1 Vývoj CCI *10*

1.1.2 Použití CCI *10*

1.1.3 Výsledky a analýza Finského a Norského výzkumu s využitím CCI *11*

1.2 ZÁKLADNÍ CHEMICKÉ KONCEPTY V ČESKÉM KURIKULU 14

1.2.1 RVP ZV *14*

1.2.2 RVP G *14*

1.2.3 RVP SOV *15*

1.3 MISKONCEPCE 19

1.3.1 Miskoncepty v chemii *22*

1.3.2 Důsledky miskonceptů pro učení a výuku v chemii *32*

1.3.3 Náprava miskoncepcí v chemii *33*

1.3.4 Metakognitivní monitorování a sebehodnocení ve vztahu k miskoncepcím *35*

1.4 TŘÍVRSTVÉ ÚLOHY 37

2 CÍLE VÝZKUMU **39**

3 METODY VÝZKUMU **40**

3.1 VÝZKUMNÝ NÁSTROJ 40

3.2 ZPRACOVÁNÍ ÚLOH 41

3.3 POPIS VÝZKUMNÉHO VZORKU 44

3.4 ANALÝZA DAT 44

4 VÝSLEDKY VÝZKUMU **46**

4.1 ÚLOHA Č. 1 46

4.1.1 První vrstva *46*

4.1.2 Druhá vrstva *46*

4.2 ÚLOHA Č. 2 48

4.2.1 První vrstva *48*

4.2.2 Druhá vrstva *49*

4.3 ÚLOHA Č. 3 51
4.3.1 První vrstva *51*
4.3.2 Druhá vrstva *51*
4.4 ÚLOHA Č. 4 53
4.4.1 První vrstva *53*
4.4.2 Druhá vrstva *54*
4.5 ÚLOHA Č. 5 56
4.5.1 První vrstva *56*
4.5.2 Druhá vrstva *56*
4.6 ÚLOHA Č. 6 58
4.6.1 První vrstva *58*
4.6.2 Druhá vrstva *58*
4.7 TŘETÍ VRSTVA 60
4.8 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ STUDENTŮ UČITELSTVÍ CHEMIE A ODBORNÉ CHEMIE 63
5 IMPLIKACE 64
6 DISKUSE A ZÁVĚR 66
7 POUŽITÁ LITERATURA 68

Úvod

Chemické koncepty a miskoncepce představují zásadní výzvu ve výuce chemie na všech úrovních vzdělávání (Taber, 2002). Miskoncepce, které studenti často přijímají ještě před vstupem na vysokou školu, mohou významně ovlivnit jejich schopnost porozumět a aplikovat chemické poznatky. Tyto chybné představy se obvykle týkají klíčových témat, jako jsou skupenské přeměny, struktura atomů, chemické reakce a vlastnosti látek (Kind, 2004). Nesprávné pochopení těchto základních principů může vést k obtížím nejen ve studiu chemie, ale i v praktických aplikacích, což je kritické vzhledem k významu chemie v moderní vědě a průmyslu. Výzkum ukazuje, že mnozí studenti přicházejí na vysoké školy s již zakořeněnými miskoncepcemi, které následně komplikují jejich další vzdělávací proces. Proto je identifikace a náprava těchto miskoncepcí klíčová pro zlepšení efektivity výuky chemie a pro přípravu studentů na pokročilejší studium i odbornou praxi.

Tato diplomová práce se věnuje detailní analýze a hodnocení úrovně konceptuálního porozumění studentů 1. ročníku vysoké školy z hlediska jejich schopnosti pracovat s chemickými koncepty. Práce navazuje na dřívější výzkum, který byl prováděn na prestižních univerzitách, jako je Norské univerzitě pro vědu a techniku (NTNU) a Univerzitě v Jyväskylä (JYU), kde byl použit Chemical Concepts Invertory (CCI) pro hodnocení úrovně porozumění studentů. Tento nástroj umožňuje detailní hodnocení porozumění klíčovým chemickým konceptům a identifikaci miskoncepcí. V této studii byly vybrány specifické úlohy z CCI, které byly následně doplněny o třívrstvé úlohy, aby se zlepšila jejich schopnost hodnotit hlubší úroveň porozumění studentů chemickým konceptům. Cílem tohoto výzkumu bylo zjistit, do jaké míry studenti 1. ročníku vysoké školy rozumí chemickým konceptům a jak tyto znalosti dokážou aplikovat a obhajovat v konkrétních situacích.

Práce se zaměřuje na identifikaci silných a slabých stránek konceptuálního porozumění v oblasti chemie, se zvláštním důrazem na skupenské přeměny. Pro výzkum byla zvolena metoda třívrstvých úloh, která umožňuje hloubkovou analýzu studentových znalostí a jejich argumentačních schopností. Tato metoda nejenže hodnotí schopnost studentů vybrat správnou odpověď, ale také jejich schopnost logicky zdůvodnit svůj výběr a posoudit míru své jistoty. Výsledky tohoto výzkumu mohou přispět k lepšímu pochopení toho, jak efektivněji učit chemii na vysokých školách, a jak lépe připravit studenty na jejich budoucí kariéru v chemických a příbuzných oborech.

Právě efektivní pochopení a odstranění miskoncepcí je zásadním krokem ke zvýšení kvality výuky chemie. Negativní postoje žáků k chemii (Knecht a Janík, 2008) jsou často vysvětlovány i vysokou abstraktností učiva chemie. Vhodná skladba (a sekvence) vizuálií umožňují minimalizovat tento negativní rys a tím přispět k velmi podstatnému zvýšení postojů žáků, které by se mělo projevit ve vyšším zájmu o další studium oboru i konkrétní profesi. Jedině tak bude společnost schopná obstát v konkurenci dnešní doby, ve které přírodovědné poznatky tvoří převážnou část rozvoje.

1 Teoretická východiska

1.1 Test porozumění chemickým konceptům (Chemical Concepts Inventory CCI)

V posledních letech se ve vzdělávacím prostředí zvyšuje důraz na efektivní metody výuky a hodnocení studentů v oblasti vědy, technologie, inženýrství a matematiky (STEM). Tento trend podporuje vývoj nových nástrojů pro měření koncepčních znalostí, jako jsou Chemical Concepts Invertory (CCI), které umožňují systematické hodnocení porozumění studentů v různých oblastech chemie (Krause et al., 2004).

Nyachwaya et al. (2011) zdůrazňují význam vývoje inventářů koncepcí, které jsou specificky zaměřeny na danou disciplínu. Tyto nástroje umožňují posouzení koncepčních znalostí studentů a srovnání výsledků mezi různými výukovými metodami. Například Mulford a Robinson (2002) vytvořili, 22 položkový inventář (CCI) s více volbami, který měl měřit koncepční porozumění studentů běžným tématům v obecné chemické třídě.

Konceptuální inventář obvykle zahrnuje sérii otázek s více možnostmi, které jsou postaveny na kvalitativních problémech (Kiviniemi et al., 2018; Kiviniemi & Nuora, 2020). Jeho cílem je měřit hluboké porozumění a konceptuální znalosti spíše než schopnost studenta řešit problémy. Například inventář konceptů síly (FCI) pro vyučování fyziky byl vytvořen Hestenesem et al. (1992) a je poměrně často používán ve výuce a výzkumu. I když jsou vyvíjeny i Chemical Concepts Invertory (Krause et al., 2004; Mulford & Robinson, 2002), zdá se, že nejsou běžně používány ve studiích.

Nástroje pro mapování a analýzu studentských představ mohou pomoci učitelům přizpůsobit svou praxi tak, aby podporovala hlubší porozumění. Předpokládá se, že studenti budují konceptuální porozumění na základě svých stávajících představ, a mohou mít potíže s přijetím nových informací, které nezapadají do jejich existujících přesvědčení. Tento střet mezi ustálenými názory studentů a novými informacemi může být buď zpochybněn a odmítnut, nebo přijat s menšími nebo rozsáhlejšími změnami v konceptu studenta.

Hodnotící nástroje, jako je CCI, mohou být užitečné pro porovnání různých metod a měření studentského konceptuálního porozumění, stejně jako pro pochopení toho, jaké představy a omezení studenti mají při vstupu do třídy (Kiviniemi et al., 2018; Kiviniemi & Nuora, 2020).

1.1.1 Vývoj CCI

Původní verze Chemical Concepts Inventory (CCI) vznikla jako nástroj pro diagnostiku žákovských miskoncepcí v obecné chemii. Tento test, vyvinutý Mulfordem a Robinsonem (2002), obsahoval 22 více výběrových otázek zaměřených na klíčové koncepty jako je atomová struktura, chemické rovnice nebo vlastnosti plynů. Sloužil jako cenný nástroj k měření konceptuálního porozumění a byl následně adaptován a rozvíjen dalšími autory, například Krausem et al. (2004).

Na základě těchto původních testů byla na Norské univerzitě pro vědu a techniku (NTNU) vyvinuta verze CCI 3.0, která obsahuje 40 více výběrových otázek. Test pokrývá hlavní témata univerzitních kurzů obecné chemie, jako je chemická vazba, molekulární struktura, mezimolekulární síly, chemické rovnováhy, elektrochemie a termodynamika (Eggen et al., 2017). Vývojáři čerpali ze stávajících verzí a zároveň přidali nové položky na základě výukových zkušeností a aktuálních potřeb.

Test CCI 3.0 byl podroben testům spolehlivosti a diskriminační schopnosti a následně použit jako pre-test a post-test ve výuce obecné chemie na NTNU a na Univerzitě v Jyväskylä (JYU) během let 2016–2017. Test byl podáván v různých formátech (písemně či v Moodle) a výsledky ukázaly nejen rozdíly v počátečních znalostech studentů, ale i potenciál testu k měření výukového posunu (Kiviniemi et al., 2018; Kiviniemi & Nuora, 2020).

1.1.2 Použití CCI

CCI je využíván jako pre-test na začátku prvního univerzitního kurzu chemie k získání informací o chemických představách studentů na začátku jejich univerzitního studia. Tyto představy mohou být získány buď ve školním předmětu (například koncept molu) nebo v každodenním životě (například přesvědčení, že hmota zmizí, když něco hoří). Použití CCI jako pre-testu může poskytnout informace o konceptech, které studenti získali po dokončení středoškolského vzdělání v chemii. Dalším účelem pre-testu může být zmapování výchozí úrovně studentů před univerzitními kurzy. Pokud výsledky CCI ukazují nevhodné představy, může být možné zaměřit se na specifické části kurzu, které je třeba zlepšit (Kiviniemi et al., 2018; Kiviniemi & Nuora, 2020).

Naopak, CCI jako post-test ukazuje představy studentů po absolvování univerzitního kurzu. Výsledky z post-testu mohou sloužit jako indikace specifických oblastí, ve kterých studenti mají problémy s konceptuálním porozuměním, což pomůže při reformování kurzů k řešení

těchto problémů. Vzhledem k tomu, že znalosti studentů jsou pravděpodobně výsledkem primárního, sekundárního a univerzitního vzdělávání, může být cílem zaměřit se na všechny tyto úrovně k dosažení celkového zlepšení výsledků studia chemie (Kiviniemi et al., 2018; Kiviniemi & Nuora, 2020).

1.1.3 Výsledky a analýza Finského a Norského výzkumu s využitím CCI

Cílem studie na Norské univerzitě pro vědu a techniku (NTNU) a na Univerzitě v Jyväskylä (JYU) bylo provést statistické vyhodnocení konzistence a diskriminační schopnosti CCI 3.0. Výsledky testu byly analyzovány pomocí pěti statistických testů: tři se zaměřily na jednotlivé položky (index obtížnosti P, index diskriminace D, bodový biseriální koeficient r_{pbc}) a dva na test jako celek (spolehlivostní index testu Kuder-Richardson r_{test} a Fergusonovo delta δ) (Kline, 1986; Kuder & Richardson, 1937).

Kuder-Richardsonův index spolehlivosti posuzuje spolehlivost testu porovnáním jednotlivých položek testu, přičemž každá položka je považována za samostatný paralelní test. r_{test} lze spočítat pro testy s více volbami jako (Kuder & Richardson, 1937):

$$r_{test} = \frac{M}{M-1}\left(1 - \frac{\sum P_i(1-P_i)}{\sigma_x^2}\right)$$

kde M je počet položek v testu, σ_x je směrodatná odchylka celkového skóre testu a P je index obtížnosti každé položky, spočítaný jako poměr počtu správných odpovědí N_1 k celkovému počtu odpovědí N:

$$P = \frac{N_1}{N}$$

Test lze považovat za spolehlivý pro hodnocení jednotlivců, pokud hodnota Kuder-Richardsonova indexu spolehlivosti přesahuje 0,8 (Doran, 1980). Druhou statistikou testu je Fergusonova delta, která měří diskriminační schopnost testu na základě distribuce skóre studentů (Kline, 1986):

$$\delta = \frac{N^2 - \sum f_i^2}{N^2 - (N^2/(M+1))}$$

kde f_i je frekvence případů se stejným skóre a N je počet studentů, kteří test absolvovali. Test lze považovat za dobře diskriminační, pokud hodnota Fergusonovy delty přesahuje 0,9 (Kline, 1986). Výsledky pro statistiky jednotlivých položek jsou prezentovány v Tabulce 1.

Tabulka 1: Porovnání výsledků statistických testů pro CCI 3.0. N = počet studentů, rtest = spolehlivost testu Kuder-Richardson a δ = Fergusonovo delta. ***(Kiviniemi & Nuora, 2020)***

	JYU Pre 2016	JYU Post 2016	JYU Pre 2017	JYU Post 2017	NTNU Post 2015
N	141	79	147	76	60
r_{test}	0,85	0,85	0,84	0,86	0,88
δ	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98

Jednotlivé otázky testu byly vyhodnoceny pomocí tří různých statistických testů: index obtížnosti P, index diskriminace D a bodový biseriální koeficient r_{pbc}. Index obtížnosti je jednoduše poměr počtu správných odpovědí k celkovému počtu odpovědí pro danou otázku. Takže čím vyšší hodnota P, tím snazší je otázka pro studenty. Otázka nebo test, který je příliš snadný nebo obtížný, nebude řádně diskriminovat mezi studenty. Rozumná hodnota indexu obtížnosti by měla být mezi 0,3 a 0,9 pro individuální otázky, kde 0,5 by byla optimální. Průměrná hodnota indexu obtížnosti pro celý test by měla být kolem 0,5. (Doran, 1980)

Index diskriminace D měří, jak dobře jednotlivá položka testu diskriminuje mezi studenty s vysokým a nízkým skóre. To je založeno na rozdělení studentů na skupiny s vysokým a nízkým skóre a výpočtu počtu správných odpovědí v každé skupině. Rozdělení může být provedeno různými způsoby, ale zde jsme použili dělení 25 % / 25 %, což znamená, že skupina s vysokým skóre se skládala z nejlepších 25 % studentů a skupina s nízkým skóre ze 25 % studentů s nejnižšími skóre. Použitím tohoto dělení lze index diskriminace vypočítat následovně (Doran, 1980).

Třetím statistickým testem používaným pro jednotlivé položky je bodový biseriální koeficient r_{pbc}. Měří spolehlivost jednotlivé položky tím, že koreluje celkové skóre se skóre na jednotlivé položce. Pokud r_{pbc} má kladnou hodnotu, student s vysokým celkovým skóre je pravděpodobnější, že odpoví správně na položku než student s nízkým skóre. Biseriální

koeficient pro položku lze vypočítat pomocí indexu obtížnosti P a směrodatné odchylky celkového skóre σ_x (Kline, 1986).

Průměrné výsledky pro statistiky jednotlivých položek jsou prezentovány v Tabulce 2.

Tabulka 2: Porovnání výsledků statistických testů jednotlivých otázek (průměr) pro CCI 3.0. N = počet studentů, P = index obtížnosti položky, D = index diskriminace položky, rpbc = bodově-biseriální koeficient položky. ***(Kiviniemi & Nuora, 2020)***

	JYU Pre 2016	JYU Post 2016	JYU Pre 2017	JYU Post 2017	NTNU Post 2015
N	141	79	147	76	60
P	0,46	0,57	0,46	0,62	0,66
D	0,44	0,42	0,42	0,43	0,45
r_{pbc}	0,38	0,37	0,36	0,39	0,41

Průměrné hodnoty pro pre-testy a post-testy na JYU byly v mezích doporučených hodnot a tudíž přijatelné. Průměrný index diskriminace položky a bodový biseriální koeficient byly trochu nižší na JYU než na NTNU, ale průměry byly stále dobře nad limity. Průměrná hodnota indexu obtížnosti položky byla kolem 0,5 pro oba pre-testy a post-testy, což lze považovat za vhodnou hodnotu (Doran, 1980).

Celkově lze na základě výsledků statistické analýzy na JYU a NTNU považovat CCI 3.0 za spolehlivý a diskriminační nástroj v současných kontextech. Zjistili určité drobné problémy s několika individuálními otázkami, které vyžadují podrobnější šetření. Nicméně test jako celek může být použit jako nástroj pro hodnocení chemických konceptů studentů prvního ročníku vysoké školy. Jelikož je test statisticky validní jak jako pre-test, tak jako post-test, mohl by být také použit k sledování pokroku studentů během prvního semestru, například ke studiu efektu změn vyučovacích metod nebo učebních prostředí na chemické koncepty studentů (Kiviniemi et al., 2018; Kiviniemi & Nuora, 2020).

1.2 Základní chemické koncepty v českém kurikulu

1.2.1 RVP ZV

Žáci se poprvé setkávají s chemií na druhém stupni základní školy nebo na nižším stupni gymnázia. Chemie, společně s fyzikou, přírodopisem a zeměpisem, patří do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Po tzv. Malé revizi RVP je pro tuto oblast předepsána minimální časová dotace 20 hodin týdně. Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání (RVP ZV) nestanovuje rozvržení hodin v jednotlivých ročnících ani pro jednotlivé obory této oblasti (MŠMT, 2021). Státní kurikulum tedy neurčuje přesně, kdy má výuka chemie začít a jaký má být její rozsah. Nejčastěji se chemie na ZŠ vyučuje v osmém a devátém ročníku (Čtrnáctová & Zajíček, 2010; Medek, 2022). Učebnice se schvalovací doložkou jsou obvykle rozděleny do dvou dílů, jeden pro osmý a druhý pro devátý ročník (např. Beneš et al., 1999a, 1999b; Škoda et al., 2018). Současné učebnice chemie stále respektují strukturu učiva rozdělenou do posledních dvou ročníků, jak bylo zavedeno ve vzdělávacím programu Základní škola z 90. let (Vojíř & Rusek, 2022).

Ve vzdělávacím obsahu chemie v RVP ZV je látka rozdělena do sedmi tematických celků: Pozorování, pokus a bezpečnost práce; Směsi; Částicové složení látek a chemické prvky; Chemické reakce; Anorganické sloučeniny; Organické sloučeniny; Chemie a společnost (RVP ZV, 2021).

Vzhledem k zaměření této práce bude pozornost soustředěna na chemické koncepty, konkrétně na částicové složení látek a skupenské přeměny. V RVP ZV v tematickém celku Pozorování, pokus a bezpečnost práce jsou v učivu zařazeny vlastnosti látek, vliv atmosféry na vlastnosti a stav látek. Odpovídajícím očekávaným výstupem je „CH-9-1-01 určí společné a rozdílné vlastnosti látek“. Část Částicové složení látek a chemické prvky obsahuje v učivu částicové složení látek – molekuly, atomů; chemické sloučeniny – chemická vazba.

1.2.2 RVP G

Ve vzdělávací oblasti Člověk a příroda v RVP G jsou vedle chemie zahrnuty také fyzika, biologie, geografie a geologie. Minimální časová dotace 36 hodin je společná pro oblasti Člověk a příroda a Člověk a společnost. Tyto předměty se musí vyučovat v prvních dvou ročnících, poté je jejich zařazení volitelné (RVP G, 2007). Chemie se obvykle vyučuje ve třech až čtyřech ročnících gymnázia (Čtrnáctová a Zajíček, 2010), přičemž v posledním ročníku se

často jedná o volitelný seminář (Švandová & Kubiatko, 2012). Vzdělávací obsah chemie je rozdělen do čtyř tematických celků: Obecná chemie, Anorganická chemie, Organická chemie a Biochemie (RVP G, 2007). S ohledem na zaměření této práce bude podrobněji přiblížen tematický celek Obecná chemie, pro který by měl žák splnit následující očekávané výstupy:

„Žák,

- využívá odbornou terminologii při popisu látek a vysvětlování chemických dějů;
- předvídá vlastnosti prvků a jejich chování v chemických procesech na základě poznatků o periodické soustavě prvků;
- využívá znalosti o částicové struktuře látek a chemických vazbách k předvídání některých fyzikálně-chemických vlastností látek a jejich chování v chemických reakcích.“

Učivo v RVP G je závazné. Obsah učiva pro tematický celek Obecná chemie je definován následovně: „soustavy látek a jejich složení, veličiny a výpočty, stavba atomu, periodická soustava prvků, chemická vazba a vlastnosti látek, tepelné změny při chemických reakcích, rychlost chemických reakcí a chemická rovnováha“ (RVP G, 2007, ss. 29-30).

1.2.3 RVP SOV

Z hlediska kurikulárního systému tvoří podstatnou populaci vzdělávanou v chemii v rámci středního vzdělávání i žáci středních odborných škol. I tito studenti přicházejí na vysoké školy a jsou dokonce součástí výzkumného vzorku této práce. S ohledem na cíle této práce je pozornost věnovaná pouze chemicky zaměřeným oborům RVP SOV. V současné době existuje 280 RVP SOV (Rusek, 2013), což představuje široké spektrum různých programů. Obsah vzdělávání lze rozdělit na všeobecný a odborný. Náhodně vybraná skupina oborů patří do kategorií H, M a L0. V rámci chemického vzdělávání jsou zde nabízeny dvě varianty: obory s vyššími nároky (varianta A) a obory s nižšími nároky (varianta B).

Struktura chemického obsahu je v RVP SOV stejná jako v RVP G a zahrnuje následující tematické celky: Obecná chemie, Anorganická chemie, Organická chemie a Biochemie.

Níže budou uvedeny pouze ty výsledky vzdělávání tematického celku Obecná chemie, které souvisí s chemickými koncepty.

Jedním z vybraných RVP SOV je RVP pro obor vzdělání 78-42-M/05 Přírodovědné lyceum. Ve variantě A se s chemickými koncepty setkáváme ve výsledcích vzdělávaní v znění:

„ Žák,

- rozlišuje pojmy těleso a chemická látka;
- dokáže porovnat fyzikální a chemické vlastnosti různých látek;
- popíše stavbu atomu, rozlišuje atom, ion, izotop, nuklid;
- vysvětlí vznik chemické vazby a charakterizuje typy vazeb;
- rozlišuje pojmy prvek, sloučenina a používá je ve správných souvislostech;
- vysvětlí obecně platné zákonitosti vyplývající z periodické soustavy prvků;
- vysvětlí podstatu chemických reakcí a dokáže popsat faktory, které ovlivňují průběh reakce.“

Konkrétní učivo je chemické látky a jejich vlastnosti; částicové složení látek, atom, molekula; chemická vazba; chemické prvky, sloučeniny; chemické reakce.

Ve variantě B je výsledků vzdělávání týkajících se chemických konceptů méně:

„Žák,

- dokáže porovnat fyzikální a chemické vlastnosti různých látek;
- popíše stavbu atomu, vznik chemické vazby;
- vysvětlí podstatu chemických reakcí a zapíše jednoduchou chemickou reakci chemickou rovnicí.“

Učivo je popsáno stejně jako ve variantě A.

Následujícím RVP SOV je RVP pro obor vzdělávání 28-44-M/01 Aplikovaná chemie. Ve variantě A jsou zahrnuty výsledky vzdělávání, které se týkají chemických konceptů následující:

„Žák,

- rozlišuje pojmy těleso a chemická látka;
- dokáže porovnat fyzikální a chemické vlastnosti různých látek;
- popíše stavbu atomu, rozlišuje atom, ion, izotop, nuklid;
- vysvětlí vznik chemické vazby a charakterizuje typy vazeb;
- rozlišuje pojmy prvek, sloučenina a používá je ve správných souvislostech;
- vysvětlí obecně platné zákonitosti vyplývající z periodické soustavy prvků;
- vysvětlí podstatu chemických reakcí a dokáže popsat faktory, které ovlivňují průběh reakce.“

Učivo konkrétně obsahuje chemické látky a jejich vlastnosti; částicové složení látek, atom, molekula; chemická vazba; chemické prvky, sloučeniny; chemické reakce.

Ve variantě B je pokrytí chemických konceptů ve výsledcích vzdělávání nižší.

„Žák,

- dokáže porovnat fyzikální a chemické vlastnosti různých látek;
- popíše stavbu atomu, vznik chemické vazby;
- vysvětlí podstatu chemických reakcí a zapíše jednoduchou chemickou reakci chemickou rovnicí."

Učivo je popsáno stejně jako ve variantě A.

Dalším RVP SOV je obor vzdělávání 28-52-H/01 Chemik jehož výsledky vzdělávání jsou následující:

„Žák,

- dokáže porovnat fyzikální a chemické vlastnosti různých látek;
- popíše stavbu atomu, vznik chemické vazby;
- vysvětlí podstatu chemických reakcí a zapíše jednoduchou chemickou reakci chemickou rovnicí."

Učivo je zde uvedeno jako chemické látky a jejich vlastnosti; částicové složení látek, atom, molekula; chemická vazba; chemické prvky, sloučeniny; chemické reakce.

ŠVP SOV

Pro přiblížení a realizaci konkrétního ŠVP je zde vybráno ŠVP Masarykova střední škola chemická, která má obor Aplikovaná chemie. V předmětech Obecná a anorganická chemie a Fyzikální chemie jsou výsledky vzdělávání, které jsou zaměřené na konceptuální porozumění tyto:

„Žák,

- definuje pojem látky a reprodukuje schéma rozdělení látek;
- dokáže porovnat fyzikální a chemické vlastnosti látek;

- vysvětlí vznik vazby zjednodušenou teorií molekulových orbitalů;
- vysvětlí vliv přítomných iontů na vlastnosti látek v tuhém stavu;
- definuje skupenské stavy látek a vysvětlí přechody z jednoho stavu do druhého podle podmínek;
- charakterizuje plynné, kapalné a tuhé skupenství a uvede příklady vysvětlí vlastnosti a praktický význam koloidních látek a uvede příklady.“

Konkrétní učivo je vymezeno jako základní chemické pojmy a jejich rozdělení; vazba; skupenské stavy v závislosti na podmínkách; interakce mezi částicemi.

1.3 Miskoncepce

Dnešní doba se vyznačuje značným množstvím informací, které každý jednotlivec musí zpracovávat. Proto je důležité vést žáky a studenty k aktivnímu přístupu ke vzdělávání a podporovat je v budování vlastního poznatkového základu v souladu s pedagogickým konstruktivismem. Nicméně individuální konstrukce poznatků může vést k vytvoření mylných představ, známých jako miskoncepce či alternativní koncepce (Duit & Treagust, 2003; Kocová & Marada, 2022).

Pojem alternativní koncepce je v odborné literatuře často používán jako širší a hodnotově neutrálnější označení pro představy, které se liší od vědecky uznávaného pojetí. Na rozdíl od pojmu „miskoncepce“, který má negativní konotaci (jako něco chybného, co je třeba odstranit), alternativní koncepce mohou být vnímány i jako přirozená fáze procesu učení, kterou lze dále rozvíjet a směřovat ke správnému porozumění (Duit & Treagust, 2003; Taber, 2002a).V některých přístupech se rozlišuje mezi miskoncepcemi jako trvale zakořeněnými chybnými představami, které mohou být rezistentní vůči změnám, a alternativními koncepcemi jako počátečními, nedostatečně rozvinutými nebo intuitivními představami, které mohou být rozvíjeny (Chi, 2005).

V literatuře se pojmy miskoncepce a alternativní koncepce někdy používají zaměnitelně, avšak někteří autoři mezi nimi rozlišují. Alternativní koncepce lze chápat jako výchozí intuitivní představy, zatímco miskoncepce označují ty z nich, které jsou hluboce zakořeněné a rezistentní vůči změně (Chi, 2005; Duit & Treagust, 2003).
Obecně platí, že miskoncepty jsou rozšířeným jevem, který se vyskytuje napříč různými vědními obory. Nejedná se pouze o problém dětí; často přetrvávají i v dospělosti. Ve školním prostředí se stávají běžnou součástí výuky a je důležité, aby učitelé byli schopni s nimi efektivně pracovat. Prvním krokem je předvídání a diagnostikace miskonceptů, následně je nutné aktivně s nimi pracovat při výuce, tj. identifikovat je a ideálně je odstranit (Kocova & Marada, 2022).

Pokud se učitelé rozhodnou aktivně pracovat s miskoncepty, je důležité, aby měli minimální povědomí o jejich původu. Školní prostředí samo o sobě může být zdrojem miskonceptů, tak alternativních koncepcí, kdy původní, často nazývané jako "naivní", představy žáků kolidují s novými, vědeckými koncepty, což vede k přeorganizaci stávajících poznatků v mysli žáků (Vosniadou et al., 2008). Vznik miskonceptů může být podpořen například rozdílným výkladem téhož problému či pojmu v různých předmětech ve škole. Rozdílné interpretace téhož

jevu mohou vést k nepropojení myšlenek v mysli žáka, což komplikuje pochopení problému a posiluje vznik mylných představ (Smith III et al., 1994).

Tyto nesprávné představy nevznikají pouze prostřednictvím školního prostředí, ale mohou se formovat i skrze komunikaci mezi vrstevníky, rodinou a zejména vlivem médií. Moderní technologie umožňují prakticky neomezený přístup k množství neověřených (ale i ověřených, často příliš zobecněných) informací, které mohou negativně ovlivnit naše poznatkové systémy (Doulík, 2005). Tím dochází k vytváření různých alternativních koncepcí, z nichž některé mohou přerůst v pevně zakořeněné miskoncepce.

Zkušenost je často významným zdrojem nesprávných představ. Skutečné zážitky se mohou hluboce zakořenit a konfrontovat je s vědecky správnými závěry může být obtížné (Škoda & Doulík, 2011).

Je možné předpovědět existenci nesprávných představ? Pokud se miskoncepty vyvíjejí z nepochopení určité části učiva, je logické očekávat, že jejich výskyt bude častější u složitějších témat, kde je snaha žáků o pochopení obtížnější (Kocová & Marada, 2022). Avšak jak definovat „obtížné“ učivo? Pojem obtížnosti, který má svou subjektivní podstatu, lze objektivně definovat? Pedagogické studie se převážně nezaměřují na samotnou obtížnost, ale spíše na oblíbenost předmětů nebo na celkové srovnání obtížnosti mezi různými vyučovanými předměty (Hrabal & Pavelková, 2010).

Dalším faktorem ovlivňujícím vnímání obtížnosti učiva jsou učebnice, které jsou klíčovým nástrojem pro vzdělávání. Různé studie se snažily analyzovat složitost textů v učebnicích a jejich dopad na porozumění žáků. Například Beneš et al. (2009) se zabývali analýzou jazykové obtížnosti učebnic a jejich přístupností pro žáky různého věku. Průcha (1984) již dříve upozornil na potřebu přizpůsobení učebních materiálů kognitivním schopnostem žáků. Rusek et al. (2016) zase prozkoumali, jak struktura a organizace informací v učebnicích může usnadnit nebo naopak zkomplikovat proces učení.

Výzkum obtížnosti učebnic tedy ukazuje, že nejen samotný obsah, ale i způsob, jakým je prezentován, hraje klíčovou roli v tom, jak snadno žáci informace absorbují a pochopí. Při vývoji učebních materiálů by se proto měly brát v úvahu nejen pedagogické cíle, ale i psychologické aspekty učení, aby byly co nejvíce efektivní a přístupné pro všechny žáky. V této souvislosti je důležitá i vizuální stránka učebnic. Rusek et al. (2020) se zaměřili na analýzu didaktické vybavenosti učebnic chemie pro základní školy v ČR a jejich práce poskytuje cenné poznatky o kvalitě a využitelnosti těchto materiálů. Chlumecká (2021) ve své bakalářské práci

analyzovala vizuální reprezentace zařazené v tematickém celku Organické sloučeniny v učebnicích chemie pro základní školy. Krumlová (2022) ve své bakalářské práci hodnotila vizuální reprezentace využité v učebnicích chemie pro základní školy, konkrétně v tématech kyselin, zásad a neutralizace. Tyto studie zdůrazňují význam vizuálních prvků v učebnicích a jejich vliv na porozumění a učení žáků.

Ovšem nejen žáci, ale i studenti vysokých škol přicházejí s miskoncepty, což ukazuje výzkum provedený Akcanca a Özsevgeç (2020), který se zaměřil na zkoumání vlivu kombinace různých výukových metod na akademické úspěchy a miskoncepce u budoucích učitelů. Studie ukázala, že kombinace různých výukových metod, jako jsou interaktivní přednášky, praktické experimenty a diskuse ve skupinách, může významně přispět k eliminaci miskoncepcí a zvýšení akademických úspěchů studentů. Tato kombinace metod umožňuje studentům získat více pohledů na dané téma a lepší pochopení základních konceptů chemie, což je klíčové pro prevenci a nápravu miskoncepcí (Akcanca & Özsevgeç, 2020). Ve své studii využili pretest-posttest design na jedné skupině studentů, čímž zkoumali změny v jejich koncepčním porozumění a úspěšnosti před a po intervenci. Výsledky ukázaly, že po použití různých aktivních výukových metod se úroveň miskoncepcí mezi studenty významně snížila.

Akcanca a Özsevgeç (2020) zdůrazňují, že v předškolním věku je klíčové, aby děti rozvíjely své motorické, jazykové a kognitivní schopnosti, což zahrnuje i základní pochopení vědeckých fenoménů. Ve své studii použili různé techniky výuky, jako jsou koncepční mapy, sémantické sítě, brainstorming, případové studie, mentální mapy, scamp, role play, kreativní drama, statické obrazy, psaní příběhů, syntézu a dokončení kreslených příběhů. Tyto techniky byly aplikovány na témata fyzikálních věd (hmotnost, gravitace, zvuk), věd o Zemi a vesmíru (sluneční soustava, pohyby Země a Měsíce) a biologických věd (živé organismy, globální oteplování).

Tato studie ukázala, že aktivní zapojení studentů do výukového procesu a použití různých výukových technik může významně přispět k lepšímu pochopení a internalizaci vědeckých konceptů, což je nezbytné pro eliminaci miskoncepcí. Použití diagnostických testů jako nástroje pro identifikaci miskoncepcí se ukázalo jako efektivní, protože umožňuje učitelům přesně identifikovat oblasti, kde studenti mají nesprávné představy, a následně cíleně intervenovat.

Výsledky studie také naznačují, že některé miskoncepce jsou odolnější vůči změnám než jiné. Například miskoncepce týkající se hmotnosti a zvuku byly po intervenci stále přítomny, i když

v menší míře. Toto zjištění podporuje názor, že některé miskoncepce mohou být hluboce zakořeněné a vyžadují delší a intenzivnější intervence.

1.3.1 Miskoncepty v chemii

Výzkum miskoncepcí v oblasti chemie má dlouhou tradici. Jedním z prvních, kdo systematicky zkoumal žákovské představy a jejich nesoulad s vědeckým pojetím, byl Keith S. Taber, který ve svých studiích analyzoval povahu žákovských miskoncepcí a zdůraznil jejich hluboké zakořenění zejména v oblasti částicové povahy hmoty a chemických vazeb (Taber, 2002). Na jeho práci navázala mimo jiné Vanessa Kind, která ve své knize „Za zdánlivostí: Miskoncepty studentů ohledně základních chemických pojmů“ (Kind, 2004) identifikovala nejproblematičtější oblasti z hlediska vytváření miskonceptů.

Mezi klíčové koncepty v oblasti chemie, které podle Kind (2004) představují největší potíže pro žákovské porozumění, patří: stav hmoty, částicová povaha hmoty, rozdíly mezi prvky, sloučeninami a směsmi, chemické reakce, chemické děje, kyseliny, zásady a neutralizace, stechiometrie, chemická vazba, termodynamika, chemická rovnováha a změny stavu.

Níže následuje detailní analýza představ žáků v těchto konkrétních oblastech na základě práce Kind (2004), jejímž cílem bylo porozumět typickým miskoncepcím ve vzdělávacím procesu a navrhnout efektivní strategie pro jejich překonání.

Stav hmoty

Stavy a Stachel (1985) zkoumali představy dětí ve věku od 5 do 12 let o pojmech „pevný“ a „kapalný“. Děti považují kovy a dřevo za typické pevné látky. Pro ně látky, které nejsou tvrdé a tuhé, nemohou být pevné, takže klasifikace pevných látek, které do této představy „nezapadají“, je obtížná. Tito výzkumníci zjistili, že 50 % dvanácti a třináctiletých dětí klasifikuje ne tuhé pevné látky, jako je těsto, houba, písek a cukr, odděleně od mincí, skla nebo křídy.

Voda je považována za standardní „kapalinu“, kterou děti používají k porovnání s ostatními možnými kapalinami. Děti si uvědomují, že prášky s tekutými vlastnostmi nezpůsobují pocit vlhkosti, ale přesto je klasifikují jako kapaliny. Děti obecně snáze klasifikují nové kapaliny než pevné látky, pravděpodobně proto, že kapaliny jsou méně různorodé ve svých fyzikálních vlastnostech. (Stavy & Stachel, 1985)

Děti mají se vzduchem, který zažívají běžně, jako neviditelným plynem, zvláštní obtíže. Stavy (1988) navrhuje, že tato neviditelnost brání dětem v samovolném vytváření představy o plynech. Ukazuje se, že děti potřebují instrukce, aby získaly znalosti o vlastnostech plynů.

Piaget a Inhelder (1974) se zabývali představami dětí o chování hmoty. Shrnují naivní pohled dětí na hmotu takto:

- Hmota nemá trvalý charakter. Když zmizí z dohledu (například při rozpouštění cukru ve vodě), přestává existovat.
- Hmota má jádro, ke kterému jsou připojeny různé vlastnosti (jako je sladkost), které mohou existovat nezávisle na ní. Hmota může „zmizet“, zatímco její vlastnosti zůstávají.
- Hmotnost není vnitřní vlastností hmoty. Existence hmoty bez hmotnosti je přijatelná.
- Jednoduché fyzikální transformace, jako je rozpouštění, nejsou chápány jako reverzibilní.

Částicová povaha hmoty

Dětský zjednodušený pohled na látku vychází z principu „věřím tomu, co vidím“. Částice nejsou viditelné, a proto pro vysvětlení chování látky není nutné, aby existovaly ve fungujícím modelu (Kind, 2004).

Kind (2004) shrnuje čtyři klíčové nesprávní představy o částicové teorii a hmotě, které jsou:

- „Hmota je spojitá“

U malého procenta 16letých žáků je pravděpodobné, že použijí rozvinutý částicový model k vysvětlení fyzikálních a chemických jevů. I přes výuku většina žáků zůstává u primitivního částicového modelu, který zachovává některé aspekty naivního pohledu. Například někteří 16letí žáci si myslí, že mezi částicemi plynu neexistuje žádný prostor nebo jsou zaplněny, či že se částice rozšiřují při zahřívání. Jiní žáci, kteří rozumí tomu, že částice plynu jsou rovnoměrně rozptýleny, to vysvětlují existencí odpuzujících sil, což naznačuje, že jsou statické.

- „Mezi částicemi je zaplněný prostor“

Podle Novicka a Nussbauma (1978) jsou aspekty částicového modelu, které jsou pro žáky nejvíce obtížné pochopit, právě ty, které nejsou v souladu s jejich senzorickým vnímáním látky. Koncept prázdného prostoru mezi částicemi je problematický, protože chybí podpůrné

senzorické důkazy. Stavy (1990) naznačuje, že vizuální podklady mohou pomoci změnit názory žáků, neboť teprve tehdy je zjevná nedostatečnost naivního modelu.

- „Vazby nebo síly ovlivňují pohyb částic“

Žáci mohou dojít k závěru, že mezi částicemi plynu existují přitažlivé síly, které mohou vysvětlit, proč se částice plynu shlukují dohromady. Později mohou žácii tuto myšlenku upravit tak, aby vysvětlili rovnoměrné rozložení částic plynu pomocí odpuzujících sil. Na druhou stranu, síly mohou být přítomné, když je látka v plynném stavu, ale ne v pevném stavu. Tyto myšlenky mohou způsobit potíže žákům při porozumění chemickým vazbám.

- „Částice mohou změnit formu“

Žácii přiřazují částicím makroskopické vlastnosti. Například si mohou představovat, že částice explodují, hoří, stahují se, rozšiřují se a/nebo mění tvar. Tento jednoduchý způsob myšlení znesnadňuje porozumění podstatě chemické reakce.

Rozdíly mezi prvky, sloučeninami a směsi

Při rozlišování mezi prvky, sloučeninami a směsmi se ukázalo, že studenti mají problémy s aplikací myšlenek o částicích. Například Briggs a Holding (1986) zjistili, že asi 30 % respondentů správně identifikovalo všechny tři kategorie. Nicméně řada studentů nedokázala rozlišit mezi reprezentacemi sloučenin a prvků v diagramu, což naznačuje, že nedokázali rozpoznat, že molekuly sloučenin jsou odlišné od jednotlivých atomů prvků. Rozhovory se studenty odhalily, že sice chápou makroskopickou povahu prvku, ale neaplikují myšlenky o částicích. Jejich odpovědi naznačovaly obecné chápání toho, že všechny části jsou stejné a prvek je „čistý“. Nicméně vykazovali také značné zmatení ohledně povahy částic v prvku. Studie Barkera (1995) pak ukázala, že studenti se zdokonalují ve správném rozlišování prvků, sloučenin a směsí během kurzu chemie. Přesto většina studentů stále má potíže s aplikací myšlenek o částicích v této oblasti, což naznačuje, že jsou zapotřebí lepší metody výuky, které propojují makroskopickou a mikroskopickou úroveň a podporují konzistentní porozumění chemickým konceptům.

Chemické reakce

Žácii se potýkají s obtížemi při identifikaci chemických reakcí. Mnozí nedokážou spolehlivě rozlišovat mezi chemickou změnou a změnou skupenství, kterou chemici označují jako „fyzikální změnu“ (Kind, 2004).

Klíčové obtíže z hlediska chemických reakcí Kind (2004) dělí následovně:

- Myšlení žáků není pevně ustálené.

Tradiční přístup nedovoluje dostatek času ani prostoru na to, aby se postupně rozvíjely a utvrzovaly poznatky dětí o jednotlivých konceptech před tím, než jsou prezentovány další. Předpokládá se na každém stupni, že studenti se učí tak, jak učitel zamýšlel, aniž by byl dostatečný prostor pro zkoumání jejich vlastních myšlenek a jejich adresování. Výsledkem je, že žáci vykazují velmi matoucí myšlení, když se snaží začlenit nové vědecké pohledy na svět do svých vlastních mentálních struktur.

- Úvahy o chemických reakcích nezahrnují částice

Žáci se spoléhají na modely spojité hmoty, což je vede k tomu, že přemýšlejí o chemických reakcích stejně. Takže vlastnosti látky jako celek jsou připisovány částicím - například částice síranu měďnatého by vypadala modře, atom mědi by vodil elektřinu a tak dále. Žáci mohou považovat různé formy stejného chemického prvku za odlišné látky kvůli strukturálním rozdílům, jako je například mezi železnou vatou a železným hřebem. Nicméně, když jsou studentům představeny diagramy, ukazující rozdíly mezi prvky, sloučeninami a směsmi, zdá se, že vizuální obrazy pomáhají s pochopením.

- Změny skupenství jsou často zaměňovány za chemické reakce.

Žáci často míchají změny skupenství s rozpouštěním a chemickými změnami. Dokonce i chemici sami nepomáhají, když se zabývají detaily a přehlížejí zásadní bod pro studenty! Klíčovým bodem je, že chemická reakce znamená vytvoření nové látky. Jsou potřeba vizuální podněty, které to jasně a jednoznačně ilustrují.

- Jazyk chemie způsobuje zmatek.

Žáci se v chemii setkávají s mnoha různými termíny, z nichž každý má specifický význam pro chemiky. Dětem je třeba poskytnout příležitosti k poznání významu termínů používaných chemiky spíše než jenom představit samotné termíny.

Chemická vazba

Kind (2004) doporučuje, aby učitelé při výuce chemických vazeb využívali molekulární modely a vizuální reprezentace. To pomůže studentům lépe pochopit rozdíly mezi iontovými a kovalentními vazbami, stejně jako správné chování těchto sloučenin při různých chemických reakcích. A uvádí tyto klíčové obtíže:

- Sloučeniny s iontovými vazbami se chovají jako jednoduché molekuly

Žáci vidí vzorce iontových vazeb napsané jako „NaCl“ nebo „$MgCl_2$“. Není žádný rozdíl mezi těmito vzorci a „CH_4“ nebo „H_2O“, které jsou převážně kovalentní sloučeniny. Trojrozměrná struktura sloučenin s převážně iontovou vazbou je ignorována. I když to je chemická konvence, studenti, kteří se učí chemii, potřebují pomoc k pochopení, že sloučeniny s převážně iontovými vazbami se chovají odlišně od těch s kovalentními vazbami. Například pochopení toho, že se ionty oddělují, když se převážně iontová sloučenina rozpouští ve rozpouštědle, místo aby „molekula“ zůstala pohromadě.

- Centrální (první) prvek ve vzorci je zodpovědný za tvorbu vazeb

Konvence psaní vzorců přispívá k omylu, že první prvek ve vzorci je silnější. V metanu například je uhlík vnímán jako "potřebující" čtyři vazby, zatímco vodík je slabší partner s každým „potřebujícím“ pouze jednu vazbu.

- Atomy „chtějí“ tvořit vazby

Rozšíření myšlenky, že atomy „potřebují“ tvořit vazby, je to, že atomy rozhodují o tvoření vazeb. Tento způsob myšlení může pocházet z analogií jako „držení za ruce“ nebo „hledání partnera“ používaných ve výuce. Tato strategie způsobuje problémy později, když studenti zkoušejí pochopit roli energetiky při tvorbě vazeb.

- Existují pouze dva typy vazeb - kovalentní a iontové

Výuka před 16 rokem se zaměřuje téměř výhradně na kovalentní a iontové vazby v takové míře, že žáci si myslí, že všechny vazby musí být „iontové“ nebo „kovalentní“. Vzhledem k tomu, že většina chemických vazeb spadá mezi tyto dva extrémy nebo jsou mezi nimi mezičásticové, je to nepomocné.

- Kovalentní vazby jsou slabší než iontové vazby

Výuka představuje rozdíly mezi „kovalentními“ a „iontovými“ sloučeninami z hlediska teplot tání, bodů varu a fyzikálních stavů. Zjednodušené vysvětlení ignoruje roli mezimolekulových vazeb, což vede studenty k chudým modelům pro vysvětlení změn stavu.

Změny stavu

S ohledem na téma této práce je zde téma skupenských přeměn z hlediska miskonceptů rozepsáno podrobněji.

- Tání

Cosgrove a Osborne (1981) popsali tři hlavní přístupy 8 až 17letých dětí k tání ledu na čajové lžičce. Mnoho z nich uvedlo, že led jednoduše „taje a mění se na vodu“. Někteří ve věku 12 - 13 let často předpokládali, že led je „nad svou teplotou tání“, zatímco ti ve věku 14 - 17 let často uváděli, že „teplo způsobuje, že se částice oddalují od sebe“. Malá část starších dětí využila myšlenky částic.

Brook et al. (1984) zkoumali vysvětlení 15letých dětí, co se stane s ledem, když je vyjmut z mrazáku při teplotě -10 °C a nechán zahřát na -1 °C. Asi polovina odpovědí použila myšlenky na částice, ale často se objevovaly nedorozumění. Například někteří tvrdili, že „blok ledu se ochlazuje a částice začínají od sebe odcházet, aby tvořily plyny“, zatímco jiní uváděli, že „částice začnou od sebe odcházet kvůli vzestupu teploty a když se od sebe oddálí, přecházejí z krystalického stavu do roztokového stavu.“ Další odpovědi zahrnovaly i makroskopické myšlenky, jako je expanze a kontrakce částic.

- Tuhnutí

Stavy (1990b) zjistil, že někteří šest až čtrnáctiletí si uvědomují, že tání je možné obrátit, ale poznamenává, že je možné, že žáci v těchto věkových skupinách nemají obecné povědomí o tom, že proces tání je reverzibilní, ale posuzují každý případ individuálně. To znamená, že studenti mohou mít dojem, že i když voda může zamrznout a opět se rozpustit, to nemusí nutně platit pro všechny látky. Stavy (1990b) uvádí příklad, jak slova „tání“ a „zmrazení“ byla použita ve spojení s voskem zvonkové svíčky a vodou. Reversibilita změny stavu ledu na vodu byla téměř všemi respondenty přijata, ale chápání procesu tání a zmrazení vosku zvonkové svíčky bylo pochopeno jen u 50 % desetiletých, a to až ve věku 16 let.

- Vypařování

Asi jedna pětina dětí ve věku 7 - 9 let uzná, že voda zmizela, ale domnívají se, že za tím stojí vnější faktor, jako je jiná osoba nebo slunce. Děti také mohou myslet, že voda proniká do pánve, když se vaří (Beveridge, 1985), nebo že „vstřebala do talíře“, pokud je jen nechána odpařovat (Cosgrove & Osborne, 1981). Starší děti uvádějí stejné vysvětlení, ale v různých poměrech; například asi 57 % dětí ve věkové skupině 9 - 11 let používá myšlenku vnějšího faktoru. Tyto názory naznačují, že uvažování o odpařování je spojeno s pochopením zachování hmoty. Když děti navrhují, že vnější faktor odstranil vodu, zdá se, že zachovávají množství materiálu, ale nabízejí nesprávné vysvětlení, proč voda zmizí. Používají smyslově založené úvahy, aplikují pro ně uspokojivá vysvětlení pro neviditelnou změnu.

Stavy (1990b) pečlivě prozkoumal vztah mezi odpařováním a zachováním hmoty u devítiletých až patnáctiletých žáků, kteří byli vyučováni teorií částic. Zjistil, že 50 % patnáctiletých nedodržuje zachování hmoty při odpařování, což naznačuje, že dochází ke zmatení kvůli výuce o hustotě a váze. Osborne a Cosgrove (1983) studovali novozélandské žáky ve věku od 8 do 17 let. Před respondenty se vařia voda v rychlovarné konvici, takže mohli vidět bubliny ve vroucí vodě. Bylo se jich ptáno: „Z čeho jsou bubliny vyrobeny?“ Odpovědi zahrnovaly, že bubliny byly vyrobeny z tepla, vzduchu, kyslíku nebo vodíku a páry. Více než 700 studentů odpovědělo na otázku, poskytujíc stejné odpovědi. Poměrně se tyto odpovědi mezi věkem 12–17 let lišily následovně:

- teplo 30 % až 10 %
- vzduch 30 % až 20 %
- kyslík / vodík 25 % až 40 %
- pára 15 % až 30 %.

Tyto údaje ukazují, že počet správných odpovědí, pára, se mezi věkem 12 až 17 let zvyšuje. Většina sedmnáctiletých však myslí, že vodu lze při ohřevu rozložit na její složky; nebo že teplo je látka samotná; nebo že je vzduch obsažen ve vodě.

Kruger a Summers (1989) použili otázky podobné těm od Cosgrove a Osborne ve své práci s učiteli základních škol. Zjistili, že tito dospělí lidé často nepoužívají myšlenky částic k vysvětlení jevu odpařování, ale spíše to dělají v makroskopických termínech. To přidává k dříve uvedeným důkazům naznačujícím, že lidé neochotně mění své naivní představy o částicích a hmotě a zachovávají dětské vnímání i v dospělosti.

- Kondenzace

Osborne a Cosgrove (1983) zkoumali, jaké představy mají děti o kondenzaci. Postavili šálek do páry vycházející z vařící se konvice a zeptali se: „Co je to na tom tácku?“. Mnoho dětí ve věku 10 - 13 let odpovědělo, že talíř „potil“ nebo byl jednoduše „mokrý“. Jiní stejného věku a starší zmínili: „Pára se zpět mění na vodu“ nebo „Kyslík a vodík se znovu spojují a tvoří vodu.“ Asi čtvrtina 13 - 17letých dala správnou odpověď.

Osborne a Cosgrove identifikovali čtyři hlavní vysvětlení vzniku kondenzace vody na vnější straně uzavřené skleněné nádoby s ledem. Tato vysvětlení zahrnovala myšlenky, že „voda prochází sklem“, „chlad prochází sklem“, „chladná plocha a suchý vzduch reagují a tvoří vodu“ a „voda ve vzduchu se přilepí na sklo“. Autoři zdůraznili, že správné odpovědi, které využívaly částicovou představu, byly vzácné, a to i u starších žáků.

Tento výzkum ukazuje, že i 16letým žákům může být obtížné aplikovat základní částicové myšlenky na praktické situace, což naznačuje, že je zapotřebí lepší podpory pro porozumění chemickým konceptům.

Kind (2004) shrnuje základní problémy z hlediska mylných představ o skupenských přeměnách na následující:

- Žáci jsou nekonzistentní ve svém používání myšlenek o částicích.

Žáci nepoužívají myšlenky o částicích konzistentně k vysvětlení změn a pokud jsou tyto vyjádřeny, často jsou nesprávné. Příklady zahrnují myšlení, že částice se mohou rozšiřovat, smršťovat, rozpadat a/nebo jsou statické.

- Změny stavu jsou vnímány jako oddělené události.

Žáci mají obtížnosti s pochopením zpětného charakteru změn stavu a každý proces vnímají jako samostatnou událost. Takže tání a mrazení nemusí nutně zahrnovat stejnou látku - nepomáháme tím, že pevnou vodu nazýváme „led“, kapalnou vodu „voda“ a plynnou vodu „pára“.

- Informace o jedné látce nelze přenést na ostatní.

Voda je často používána jako příklad pro diskusi o změnách stavu. I když žáci možná dokážou dát vědecky správné nápady o chování vody, nemohou aplikovat stejné úvahy na ostatní látky. To naznačuje, že místo toho, aby se naučili a pochopili změny stavu obecně, naučili se pouze o změnách stavu vody. Jejich učení nebylo základní povahy, ale závisí na jednom příkladu.

- Myšlenky o kondenzaci.

žáci mohou vyvinout model změny stavu, který zahrnuje molekuly, které se při varu rozpadají a při kondenzaci se opět tvoří. 12-15letí nemusí vědět, odkud pocházejí kondenzované látky, například říkají, že „procházejí sklem“ nebo se „přilepí ke sklu“.

- Myšlenky o tání a mrazu

Led byl běžně používán jako látka pro zkoumání úvah žáků. Asi polovina 15letých si myslí, že se částice ledu mohou smršťovat, rozšiřovat, rozpouštět nebo tát při změně na kapalnou vodu. Tání a rozpouštění jsou často používány jako synonyma. Myšlenky o mrazu jsou méně důkladně zkoumány – 16letí se zdají rozvíjet myšlenku, že mraz a tání jsou „opakem“. Myšlenka, že mraz musí nastat při „studených“ teplotách, se zdá být pevně zakotvena u mnoha studentů.

Kind se ve své knize (2004) dále věnovala miskoncepcím v oblastech, které doplňují klíčová témata chemie, a to konkrétně: reakcím v otevřených a uzavřených systémech, problematice kyselin, zásad a neutralizace, stechiometrii, chemické rovnováze a termodynamice. Přestože se jedná o specifické tematické okruhy, i zde byly zaznamenány četné žákovské miskoncepce, které mohou významně ovlivnit porozumění základním chemickým jevům.

Chemické děje v uzavřených a otevřených systémech

V uzavřených systémech mají studenti tendenci zaměňovat hmotnost a hustotu látek, zejména v případech, kdy reakce zahrnují plynný produkt. Časté je tvrzení, že při uvolnění plynu dojde ke „ztrátě hmoty“. Miskoncepce se vyskytují i v chápání přítomnosti plynů – studenti často vnímají plyn jako výsledek chemické reakce, nikoli jako látku, která může být v systému přítomna již předem.

V otevřených systémech se objevují chyby při interpretaci oxidace a spalování. Úloha kyslíku je často opomíjena, nebo se studenti domnívají, že plyny nemají hmotnost. Plamen bývá chápán jako entita oddělená od hmoty paliva. Studenti si myslí, že palivo „zmizí“, aniž by pochopili přeměnu na nové látky.

Kyseliny, zásady a neutralizace

Mnozí studenti považují kyseliny za látky, které mají „žíravý“ účinek, a to i mimo chemický kontext – např. na základě mediálních obrazů. Alkalické látky pak vnímají jako „protijed“, který neutralizuje nebezpečné účinky kyseliny. Neutralizace je chápána jako odstranění účinku, nikoli jako reakce iontů.

Další častou miskoncepcí je víra, že kyseliny zůstávají molekulární i v roztoku, a že ionty vodíku se uvolňují jen při kontaktu s jinou látkou. Studenti často nerozumí roli indikátoru při sledování průběhu neutralizace.

Stechiometrie

Oblast mole a Avogadrova čísla patří mezi nejvíce abstraktní a pro studenty obtížně uchopitelné koncepty. Kind (2004) upozorňuje, že studenti často nechápou spojení mezi „počtem částic“ a „hmotností látky“. Mole je vnímáno jako matematický pojem bez chemického významu.

Typické miskoncepce zahrnují:

Nejednoznačné chápání samotného pojmu mol – někteří studenti nerozlišují mezi molární hmotností, množstvím látky a počtem částic.

Nezvládnutí aplikace v praxi – studenti mají potíže převádět moly na hmotnosti a naopak.

Obtížné uchopení Avogadrova čísla – pro lepší představu se doporučuje využít vizuálních analogií (např. jeden mol zrn písku pokrývající velkou plochu).

Termodynamika

Studenti často přicházejí do výuky s různými miskoncepcemi o termodynamice, které mohou výrazně ovlivnit jejich schopnost pochopit a aplikovat základní principy této oblasti chemie. Tyto miskoncepce jsou často hluboce zakořeněné a mohou přetrvávat i po formální výuce.

Kind (2004) uvádí tyto typické obtíže:

Paliva jsou „úložiště“ energie – studenti si často myslí, že paliva obsahují energii jako látku, která se při hoření jednoduše uvolní.

Energie může být vytvořena a spotřebována – domnívají se, že energie „vzniká“ během reakce a „dochází“, když palivo shoří.

Energie je uvolněna při rozbití chemických vazeb – studenti zaměňují vstupní a výstupní energii, podobně jako když rozbití vajíčka uvolní jeho obsah.

Sözbilir et al. (Sözbilir et al., 2010) ve svém výzkumu ukázali, že diagnostické testy a aktivní výukové metody (např. konceptuální mapy, diskuse, drama či modely) mohou výrazně napomoci v identifikaci a nápravě těchto miskoncepcí. Klíčové je také průběžné hodnocení a poskytování zpětné vazby.

Chemická rovnováha

Rovnovážné reakce představují pro studenty náročné téma. Kind (2004) uvádí:

Rovnováha je chápána jako statický stav, kdy se „nic neděje“.

Studenti vnímají dvě opačné reakce jako oddělené a nezávislé.

Le Chatelierův princip je někdy aplikován mechanicky bez porozumění jeho omezením.

Dochází ke záměně pojmů rychlost a rovnováha – studenti si myslí, že změny rychlosti ovlivňují rovnováhu jednotlivě, nikoli jako celek.

Závěrem lze říci, že tyto specifické okruhy chemie vykazují vysoký výskyt miskoncepcí, které mají často hluboké kořeny v každodenním myšlení žáků. K jejich odstranění je třeba využívat kombinaci vizualizace, praktických experimentů, cílené výuky a diagnostických úloh zaměřených na hlubší porozumění.

1.3.2 Důsledky miskonceptů pro učení a výuku v chemii

Zdá se, že děti až do věku přibližně 14 let spoléhají při uvažování o hmotě především na své smyslové informace. Abstraktní koncepty, jako jsou představy o částicích, nejsou pro ně snadno přístupné a nejsou běžně používány k odpovědím na otázky týkající se vlastností hmoty. To vede k jejich setrvávání v přesvědčení, že látky jsou spojité. Millar (1989) navrhuje, že děti nepotřebují používat myšlenky o částicích, protože jejich vlastní teorie hmoty pro ně dobře fungovala. To má dopady na ovlivňování změny v myšlení žáků. (Kind, 2004)

Identifikace miskoncepcí, pochopení povahy chemického poznání, specifické požadavky na učení a systematický přístup jsou podle Tümay (2016) klíčové pro efektivní chemické vzdělávání. Mnozí badatelé z oblasti chemického vzdělávání, filozofie chemie a kognitivní psychologie se shodují, že hluboké porozumění disciplíně a povaze disciplinárního poznání je

nezbytné pro identifikaci učebních obtíží a hledání smysluplných řešení (Erduran & Scerri, 2002; Scerri, 2004; Shulman, 1987; Tümay, 2016).

Tümay (2016) zmiňuje že vznik hraje klíčovou roli v epistemologii a ontologii chemie, a proto by měl být brán v úvahu při porozumění učebním obtížím a způsobům jejich řešení v chemii. Zvláště se argumentuje, že jeden z hlavních zdrojů učebních obtíží a chemických miskoncepcí spočívá v neúspěchu studentů porozumět emergentní povaze chemických entit, jejich vlastnostem a interakcím (Scerri, 2004, 2007). Konceptualizace chemických entit, jejich vlastností a interakcí z emergentní perspektivy klade specifické požadavky na učení studentů chemie. Abychom porozuměli emergentním vlastnostem, studenti by měli považovat chemické entity za strukturované systémy a zohlednit všechny složky, jejich omezené vztahy a interakce holistickým a systémovým způsobem.

Nicméně to není snadný úkol, a studenti se mohou zaměřit pouze na vnímané významné faktory a ignorovat ostatní relevantní. V takových případech mohou miskoncepce studentů o emergentní vlastnosti nevyplývat z nedostatku znalostí nebo nepochopení složek entit, jejich vlastností nebo faktorů souvisejících s vznikem a jejich účinky izolovaně, ale mohou vyplývat z nedostatku konceptualizace vzniku vlastnosti systémovým způsobem při zohlednění všech relevantních faktorů holisticky (Tümay, 2016).

1.3.3 Náprava miskoncepcí v chemii

Výzkumy ukazují, že miskoncepce jsou běžným a závažným problémem v oblasti výuky chemie. V kontextu chemické termodynamiky studenti často přicházejí do výuky s různými nesprávnými představami, které mohou výrazně ovlivnit jejich schopnost pochopit a aplikovat základní principy této oblasti. Klíčové obtíže zahrnují mylné představy o tom, že paliva jsou "úložiště" energie, že energie může být vytvořena a spotřebována, a že energie je uvolněna při rozbití chemických vazeb.

Výzkum Sözbilir et al. (2010) se zaměřil na diagnostiku a nápravu těchto miskoncepcí. Jejich studie ukázala, že použití diagnostických testů a aktivních výukových metod může významně snížit úroveň miskoncepcí u studentů a zlepšit jejich schopnost aplikovat správné koncepty chemické termodynamiky. Diagnostické testy, jako jsou třívrstvé úlohy, umožňují učitelům přesně identifikovat, které koncepty studenti nepochopili správně, a poskytují základ pro cílené výukové intervence.

Na základě výzkumu je zřejmé, že kombinace různých výukových metod může hrát klíčovou roli v eliminaci miskoncepcí. Například Akcanca a Özsevgeç (2020) doporučují kombinaci interaktivních přednášek, praktických experimentů a skupinových diskusí jako efektivní přístup k výuce chemie. Tento přístup umožňuje studentům získat různé perspektivy na dané téma a podporuje hlubší pochopení základních konceptů.

Podobně Sözbilir et al. (2010) zdůrazňují význam diagnostických testů a aktivních výukových metod při identifikaci a nápravě miskoncepcí. Tyto strategie umožňují učitelům lépe porozumět tomu, jak studenti chápou chemické koncepty, a umožňují cílené intervence, které podporují správné pochopení těchto konceptů.

Taber (2002) ve své knize "Chemical Misconceptions: Prevention, diagnosis and cure" nabízí systematický přístup k řešení chemických miskoncepcí, který zahrnuje diagnostické nástroje, cílené výukové intervence a kontinuální hodnocení efektivity těchto intervencí. Tento přístup je cenným zdrojem pro učitele, kteří chtějí zlepšit své výukové metody a lépe podporovat své studenty při osvojování chemických konceptů.

Kind (2004) doporučuje i aktivity pro podpoření správného vnímání skupenských přeměn a předcházení miskonceptům s nimi spojeným:

1. Poskytujte širokou škálu látek

Studenti potřebují zažít změny stavu pro více než jednu látku. Podporujte zkoumání změn skupenství každodenních látek, např. másla, margarínu, čokolády, rajčatové polévky. Tyto příklady mohou studentům pomoci naučit se, že body mrazu nemusí být nutně „studené“ a že body varu nejsou vždy „horké“. Studenti mohou experimentovat s nalezením přechodových teplot mezi stavy pro řadu látek a vynést je do stejného grafu, aby ukázali variace hodnot pro stejnou změnu stavu.

2. Vyzvěte model „rozpadu molekul“.

Při diskuzi o změnách stavu používejte molekulární modely. Vařte vodu před studenty. Dejte každému kus papíru. Řekněte jim, aby napsali, co si myslí, že je v bublinách, když se voda vaří. Sbírejte odpovědi. Seřaďte odpovědi. Pravděpodobně existuje určitý rozsah. Požádejte několik studentů, aby vysvětlili svůj názor. Někteří řeknou „pára“. Zeptejte se, z čeho se vyrábí pára – z molekul vody. Část bude naznačovat vodík a kyslík. Použijte molekulární model ledu, který ukazuje vodíkové vazby mezi molekulami, abyste ilustrovali, že jsou to právě tyto vazby, které se lámou během změn stavu, nikoli vazby v molekulách vody. Studenti, kteří používají model „rozbití molekul“ obvykle v důsledku toho změní své myšlení.

3. Posílení částicových nápadů

Použijte vizuální obrázky k vysvětlení toho, co se stane, když nastanou změny stavu. Diskutujte o tom, co se stane s částicemi – nemluvte o sypké hmotě, ale odkazujte na „částice másla“, „částice čokolády“ nebo „částice rajčatové polévky“. Diskutujte o tom, proč se teploty pro přechod mezi stavy liší, a spojte to s různými typy částic, a tedy s různými pevnostmi mezimolekulárních vazeb. Pro konzistenci a předcházení potížím s učením chemické vazby je nejlepší termín „mezimolekulární vazba“ spíše než „atrakce“ nebo „přitažlivé síly“.

4. Zvažte, jak prezentovat změny stavu jako vratné

Studenti musí sami vidět cykly ohřevu a chlazení, aby si uvědomili, že k látce nebylo nic přidáno ani odebráno. Mohou si myslet, že ke změnám došlo, protože se mění vzhled. Například znovu ztuhlé máslo už nikdy nevypadá jako před rozpuštěním! Použití nápadů na částice pomůže studentům uvědomit si, že částice se přeskupily jiným způsobem, takže neposkytnou pevnou látku se stejným vzhledem.

1.3.4 Metakognitivní monitorování a sebehodnocení ve vztahu k miskoncepcím

V oblasti přírodovědného vzdělávání, a zejména v chemii, kde jsou pojmy často abstraktní a propojené napříč různými úrovněmi reprezentace (makroskopickou, mikroskopickou a symbolickou), hraje metakognitivní monitorování klíčovou roli v rozpoznávání a překonávání tzv. miskoncepcí. Tyto hluboce zakořeněné mylné představy bývají odolné vůči tradiční výuce a často přetrvávají i po opakovaném vystavení správným informacím.

Metakognitivní monitorování je definováno jako schopnost studenta sledovat, regulovat a řídit vlastní kognitivní procesy během učení (Flavell, 1979; Schraw & Moshman, 1995). Zahrnuje plánování, sledování porozumění, evaluaci postupu a výběr odpovídajících učebních strategií. V souvislosti s miskoncepcemi je obzvlášť významné to, jak student reflektuje jistotu ve své odpovědi – zda si je vědom správnosti či nesprávnosti svého porozumění danému pojmu.

Nelson (1990) poukazuje na existenci dvou systémů v rámci metakognice – monitorovacího a kontrolního – které se podílejí na přesné kalibraci úsudků o vlastním vědění. Pokud student špatně odhaduje správnost své odpovědi (například věří, že rozumí, ale přitom se mýlí), vzniká tzv. nepřesná sebekalibrace, která brání opravě miskoncepce (Bol & Hacker, 2012).

Tato situace je běžná právě u žáků s hlubokými miskoncepcemi: přehnaná důvěra ve vlastní odpovědi, které jsou fakticky nesprávné, bývá častým rysem těchto kognitivních chyb

(Butterfield & Metcalfe, 2006). Takové nastavení zabraňuje přijetí zpětné vazby a snižuje motivaci zpochybnit vlastní model porozumění. Naopak nízká důvěra v odpovědi, i když jsou správné, může signalizovat zdravý metakognitivní přístup spojený s tzv. epistemickou skromností – schopností připustit si mezery ve znalostech (Driver, 1999).

Ve výzkumu Espinosy et al. (2024) se ukázalo, že budoucí učitelé chemie často projevovali vysokou míru jistoty i v případě chybných odpovědí. Tato zjištění poukazují na to, že metakognitivní selhání v podobě nepřesného sebehodnocení může být jedním z klíčových faktorů přetrvávání miskoncepcí. Autoři využili třívrstvý test, kde třetí úroveň (úroveň jistoty) sloužila jako ukazatel metakognitivního monitorování. Tato metoda odhalila skryté rozpory mezi jistotou studentů a správností jejich konceptuálního chápání.

Podobná zjištění přináší i studie Ruska et al. (2024), která zkoumala schopnosti českých středoškolských studentů v práci s periodickou tabulkou. Metakognitivní monitoring zde byl měřen pomocí úsudků o důvěře (Confidence Judgments) v kombinaci s mírou úspěšnosti řešení jednotlivých úloh. Výsledky ukázaly, že studenti často nadhodnocovali své schopnosti u složitějších úloh, přičemž u lehčích úloh naopak docházelo k mírnému podceňování. Tento jev – známý jako hard-easy efekt – signalizuje nízkou metakognitivní přesnost, která brání efektivnímu učení a identifikaci chyb.

Studie zároveň ukázala, že právě vysoká důvěra v chybné odpovědi je významným indikátorem zakořeněné miskoncepce, protože studenti necítí potřebu odpověď přehodnocovat. Autoři využili také index absolutní přesnosti (Absolute Accuracy Index) a index biasu, který kvantifikoval směr a velikost odchylky v sebehodnocení (Rusek et al., 2024). Tento přístup umožnil odhalit, že u studentů s nižšími znalostmi bylo zkreslení v sebehodnocení největší – a právě tato skupina zároveň vykazovala nejvyšší výskyt miskoncepcí.

K přesnému sebehodnocení přispívají i afektivní faktory, například pocity jistoty, zmatku nebo zájmu, které mohou studenty buď motivovat ke změně mylných představ, nebo je od ní odradit (Efklides, 2006). Cordova et al. (2014) například uvádějí, že přesná důvěra ve vlastní znalosti je důležitým faktorem pro koncepční změnu – pokud si studenti uvědomují své limity, snáze přijmou nové vědecké vysvětlení.

Celkově lze říci, že metakognitivní schopnosti – konkrétně kalibrace důvěry a sebehodnocení – hrají zásadní roli v překonávání miskoncepcí, a jejich rozvoj by měl být cíleně podporován v rámci výuky.

1.4 Třívrstvé úlohy

Miskoncepce souvisí se žákovým pojetím učiva a značí jeho mylnou představu. V pedagogickém slovníku je označována jako „naivní teorie dítěte“ (Průcha et al., 2003). Při vyhodnocení třívrstvých úloh odborníky zajímá tzv. index jistoty, který značí míru jistoty, se kterou žák odpovídá na každou otázku spadající do testované problematiky. Jeho hodnota závisí na odpovědích žáků ve třetí úrovni testu. Pokud je u žáka vysoká hodnota indexu jistoty, ale v předešlých dvou úrovních odpověděl nesprávně, jedná se s velkou pravděpodobností o výše zmíněnou miskoncepci (Peşman & Eryılmaz, 2010). Při běžném zkoušení ve výuce je žákova miskoncepce těžko testovatelná, přesto k jejímu odstranění musí pedagog přistupovat jinak než k pouhému doplnění neznalostí. Právě miskoncepce je často zaměňována pedagogy za neznalost daného učiva (Mareš, 2013).

Postupy pro identifikaci mylných představ se v průběhu času měnily a zdokonalovaly. Zpočátku byly využívány rozhovory, které poskytovaly detailní pohled na kognitivní modely studentů, nicméně vyžadovaly značný čas a odborné dovednosti tazatele (Milenković et al., 2016). Později se přešlo k písemným formám, nejprve s otevřenými otázkami, které ale narážely na neochotu studentů formulovat odpovědi v celých větách. Následovaly testy s výběrem odpovědí, jejichž hlavní výhodou byla časová efektivita, ale zároveň vykazovaly vyšší riziko náhodného uhodnutí správné odpovědi.

Dalším krokem ve vývoji byly dvouvrstvé úlohy, které se skládají z obsahové otázky a následného výběru zdůvodnění. Tím se pravděpodobnost náhodného uhodnutí snížila a výzkumníci získali hlubší informace o studentově uvažování. Přesto i tato metoda měla omezení – nedokázala vždy přesně rozlišit mezi náhodným tipem, nedostatkem znalostí a hlubokou miskoncepcí (Milenković et al., 2016).

Z těchto důvodů vznikly třívrstvé úlohy (three-tier tasks), které přidávají třetí vrstvu: sebeohodnocení míry jistoty. Tento typ úloh umožňuje hlubší analýzu žákových znalostí a jejich koncepčního porozumění (Caleon & Subramaniam, 2010; Peşman & Eryılmaz, 2010). Žák nejprve volí odpověď (první vrstva), následně vybírá nebo formuluje vysvětlení (druhá vrstva) a nakonec hodnotí svou jistotu (třetí vrstva). Právě kombinace nesprávné odpovědi s vysokou jistotou je indikátorem miskoncepce.

Několik studií potvrdilo přínos tohoto typu testování i v oblasti chemie. Putica (2023) ve své studii vyvinul a validoval čtyřvrstvý test zaměřený na porozumění aminokyselinám, proteinům a enzymům u středoškolských žáků. Výsledky ukázaly silnou korelaci mezi mírou jistoty a

úspěšností v odpovědích. Nejtěžším problémem byly případy vysoké jistoty spojené s chybnými odpověďmi, které ukazují na přítomnost miskoncepcí. Podobně Dewi et al. (2020) vytvořili čtyřvrstvý diagnostický test pro oblast chemické rovnováhy. Tato čtyři patra zahrnovala výběr odpovědi, zdůvodnění, vyjádření jistoty a otevřenou odpověď. Tato struktura umožnila hlubší analýzu studentského myšlení a rozlišení mezi miskoncepcí a neznalostí.

Studie Ruska et al. (2024) ukazuje, že třívrstvé úlohy jsou efektivní i při zkoumání schopnosti studentů pracovat s periodickou tabulkou. Autoři zdůrazňují, že tyto úlohy nejen pomáhají identifikovat problematická místa v porozumění, ale také umožňují přesnější zacílení výukových intervencí. Espinosa et al. (2024) pak aplikovali třívrstvý konceptový inventář v oblasti chemie a zjistili, že kombinace konceptového hodnocení a posouzení míry jistoty poskytuje detailní vhled do úrovně a kvality porozumění budoucích učitelů chemie.

Z uvedených výzkumů vyplývá, že třívrstvé a čtyřvrstvé testy představují moderní a efektivní nástroj pro diagnostiku miskoncepcí. Přispívají nejen k identifikaci chybných představ, ale umožňují i diferencovaný přístup k výuce, který bere v potaz nejen výsledek, ale i způsob uvažování studenta a jeho míru sebedůvěry. V tomto směru představují cenný nástroj pro výzkum i pedagogickou praxi.

2 Cíle výzkumu

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat a hodnotit úroveň konceptuálního porozumění studentů prvního ročníku vysoké školy, zejména jejich schopnost pracovat s chemickými koncepty. Výzkum zkoumal, do jaké míry studenti rozumí těmto konceptům a na základě čeho odpovídají, tj. jak odpověď vysvětlují. Dalším aspektem bylo zjištění míry jistoty při volbě odpovědí a vztahu mezi správností odpovědi a sebejistotou. Vzhledem k tomu, že CCI byl zadán studentům z osmi fakult, data umožňují porovnání úrovně porozumění mezi vysokými školami v České republice.

K tomuto účelu byly vybrány specifické úlohy z Conceptual Chemistry Inventory (CCI). Tyto úlohy byly upraveny do podoby třívrstvých úloh, aby se zlepšila jejich schopnost hodnotit hlubší úroveň porozumění studentů chemickým konceptům (Espinosa et al., 2024).

3 Metody výzkumu

3.1 Výzkumný nástroj

Pro výzkum porozumění chemických konceptů byly využity třívrstvé úlohy (Espinosa et al., 2024). Výzkum probíhal s využitím šesti vybraných úloh, které pro kontext spojuje téma vody. Každý student měl na vypracování předložených šesti úloh 60 minut. Průměrná doba na vypracování úloh však činila okolo 45 minut, s ohledem na individualitu každého žáka z výzkumného vzorku.

Třívrstvé úlohy byly koncipovány tak, aby umožnily komplexní diagnostiku porozumění. První vrstva úlohy spočívala ve výběru jedné správné odpovědi z nabídky čtyř až pěti možností. Ve druhé vrstvě student vysvětloval zvolenou odpověď vlastním vysvětlením.

Správnost byla hodnocena na základě daných odpovědí, které byly následující.

1. voda vaří v kádince 30 minut... *K varu dochází, je-li tlak na hladinu menší než tlak par vycházejících z vroucí kapaliny. Po 30 minutách už bublinky netvoří žádné z rozpuštěných plynů a jedná se tak pouze o vodu vlivem tepla měnící skupenství.*

2. Vod a sulfan... *Rozdíl je dán tím, že mezi molekulami vody se tvoří vodíkové můstky, zatímco sulfan je méně polární a vodíkové můstky netvoří.*

3. Molekula vody v ledu... *Výběr má zobrazovat stav, ve kterém mohou být zanedbány mezimolekulové síly. To je definice ideálního plynu. Stav plynné vody je zobrazen na obrázku D. B a E jsou nesmysl, A je pořád led - tam stejně jako v případě kapalné vody (C) pořád mezimolekulové síly působí.*

4. Zvětšení molekuly... *Molekula jako taková se nezvětší. Objem při mrznutí ano. Tak ale otázka nestojí.*

5. Když se voda vypařuje... *Energie je potřeba k rozštěpení mezimolekulových sil, molekuly se tak od sebe vzdálí, což je typické pro plynné skupenství.*

6. Když voda chladne... *Molekuly se pohybují pomaleji. K zastavení pohybu by došlo až při 0 K Naopak k rychlejšímu pohybu by došlo při dodávání energie do systému.*

Třetí vrstva se zaměřovala na subjektivní hodnocení jistoty odpovědi, kterou studenti vyjadřovali na pětibodové škále, kde 1 znamenala velmi nízkou jistotu a 5 velmi vysokou jistotu.

3.2 Zpracování úloh

Úloha č.1

Když voda chladne z 24 °C na 0 °C a mrzne na led, molekuly vody:

A) jsou uskupeny méně symetricky,
B) se pohybují rychleji,
C) se přestanou pohybovat,
D) se poruší,
E) se pohybují pomaleji.

Vysvětlete svůj výběr odpovědi.

Jsem si jistý(á) správností své odpovědi (zakroužkujte číslo na stupnici 1 = vůbec ne, 5 = zcela):
1 2 3 4 5

Úloha č.2

Který z uvedených procesů způsobí zvětšení molekul vody?

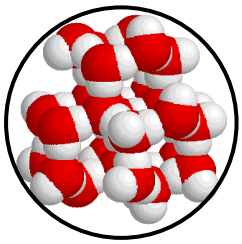
A) Zmrazení
B) Tání
C) Vypařování
D) Kondenzace
E) Ani jeden z uvedených

Vysvětlete svůj výběr odpovědi.

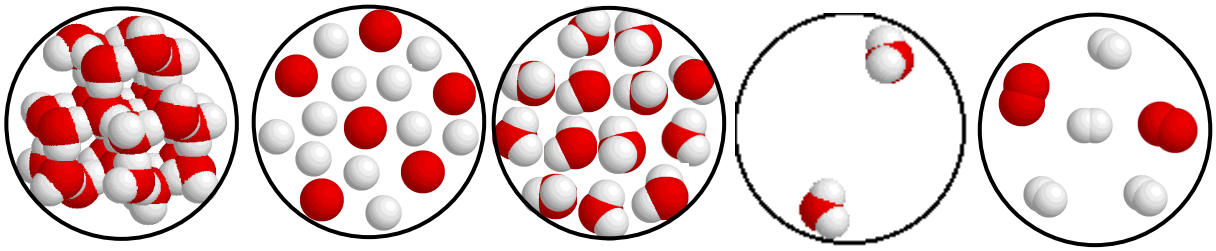
Jsem si jistý(á) správností své odpovědi (zakroužkujte číslo na stupnici 1 = vůbec ne, 5 = zcela):
1 2 3 4 5

Úloha č.3

Na obrázku jsou znázorněny molekuly vody v ledu



Vyber obrázek (A-E) nejlépe znázorňující stav, ve kterém mohou být zanedbány mezimolekulové síly mezi molekulami vody.



A. B. C. D. E.

Vysvětlete svůj výběr odpovědi.

Jsem si jistý(á) správností své odpovědi (zakroužkujte číslo na stupnici 1 = vůbec ne, 5 = zcela):

1 2 3 4 5

Úloha č.4

Voda (H_2O) a sulfan (H_2S) se skládají z podobných molekul. Za pokojové teploty je voda kapalina, zatímco sulfan je plyn. Tento rozdíl je především dán:

A) silnějšími vazbami mezi molekulami vody než molekulami sulfanu.
B) nižší molární hmotností vody oproti sulfanu.
C) silnějšími vazbami O a H ve srovnání s vazbami S a H.
D) pomalejším pohybem molekul vody oproti molekulám sulfanu.

Vysvětlete svůj výběr odpovědi.

Jsem si jistý(á) správností své odpovědi (zakroužkujte číslo na stupnici 1 = vůbec ne, 5 = zcela):

1 2 3 4 5

Úloha č.5

Předpokládejme, že voda se vaří v kádince 30 minut. Co tvoří bublinky ve vroucí vodě?

A) Vzduch
B) Plynný kyslík a vodík
C) Kyslík
D) Vodní pára
E) Teplo

Vysvětlete svůj výběr odpovědi.

Jsem si jistý(á) správností své odpovědi (zakroužkujte číslo na stupnici 1 = vůbec ne, 5 = zcela):

1 2 3 4 5

Úloha č.6

Když se voda v kapalném skupenství vypařuje, energie je potřeba k:

A) Rozštěpení vazeb mezi atomy vodíku
B) Rozštěpení vazeb mezi molekulami vodíku a kyslíku v molekulách vody
C) Rozštěpení mezimolekulových sil mezi molekulami vody
D) Vytvoření nových vazeb mezi molekulami vody

Vysvětlete svůj výběr odpovědi.

Jsem si jistý(á) správností své odpovědi (zakroužkujte číslo na stupnici 1 = vůbec ne, 5 = zcela):

1 2 3 4 5

3.3 Popis výzkumného vzorku

Výzkumného šetření se účastnili studenti prvního ročníku šesti vysokých škol, a to konkrétně na Univerzitě Karlově (UK), Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích (JČU), Českém vysokém učení technickém v Praze (ČVUT), Západočeské univerzitě v Plzni (ZČU), Univerzitě Hradec Králové (UHK) a Univerzitě Palackého v Olomouci (UPOL).

Sběr dat probíhal v prvních týdnech zimního semestru, konkrétně v září a říjnu 2023. Celkem bylo získáno 483 vyplněných testů. Z toho 349 respondentů (72,26 %) přicházelo z gymnázií (G), 43 (8,90 %) ze středních odborných škol s chemickým zaměřením (např. střední průmyslové školy chemické a střední školy chemické), 70 (14,49 %) ze středních odborných škol s jiným než chemickým zaměřením (např. zdravotnické školy, střední průmyslové školy jiného zaměření) a 22 respondentů (4,55 %) typ střední školy neuvedlo.

3.4 Analýza dat

Vyhodnocení první vrstvy úlohy, tedy výběru správné odpovědi, probíhalo dichotomicky. Správná odpověď byla ohodnocena kódem 1, zatímco chybná nebo chybějící odpověď byla ohodnocena kódem 0. Druhá vrstva byla vyhodnocena na základě správnosti uvedeného zdůvodnění. V kombinaci s první vrstvou bylo hodnoceno, zda student nejen správně identifikoval odpověď, ale také ji správně odůvodnil. Za plně správnou byla považována pouze taková odpověď, kdy respondent správně označil odpověď a současně poskytl správné vysvětlení. Všechny ostatní kombinace – tedy špatná odpověď se špatným nebo žádným odůvodněním, správná odpověď se špatným odůvodněním nebo špatná odpověď se správným odůvodněním – byly kódovány jako 0.

Třetí vrstva úlohy se zaměřovala na hodnocení jistoty správné odpovědi. Tato vrstva byla navržena k určení, zda si student byl jistý svou odpovědí v první vrstvě a svým zdůvodněním ve vrstvě druhé. Studenti měli možnost výběru ze škály 1-5, která hodnotila jejich míru jistoty.

Na základě kombinace kódů bylo vypočítáno hodnocení sebedůvěry pro každou otázku. Konkrétně se měřily následující ukazatele:

- **Průměrná sebedůvěra (CF)** studentů pro správnou nebo nesprávnou odpověď, nebo obecná sebedůvěra.
- **Průměrná sebedůvěra studentů** při správné odpovědi (CFC) nebo nesprávné odpovědi (CFW).

- **Sebedůvěrné zkreslení** (CB) = (CF - 1) / 5, což znamená poměr studentů, kteří dali správné odpovědi pro obě vrstvy. V tomto indexu se hodnocení sebedůvěry zaznamenává na stupnici 0 až 1 a odkazuje na kalibraci sebedůvěry studentů. Když je CB kladné, znamená to, že jsou studenti příliš sebevědomí; když je záporné, znamená to, že jsou nedostatečně sebevědomí; a když je CB rovno nule, mají perfektní kalibraci (Sreenivasulu & Subramaniam, 2013; Stankov & Crawford, 1997).

Následně k analýze dat byl použit Shapiro-Wilk test normality a na základě zjištění, že data nejsou normálně rozdělena, neparametrický Mann-Whitney U test pro srovnání výsledků a případné zjištění existujících rozdílů mezi studenty, kteří studují obory zaměřené na učitelství chemie, a studenty odborných chemických oborů.

- Shapiro-Wilk test se běžně používá k ověření, zda soubor dat odpovídá normálnímu rozdělení. Tento test porovnává skutečné rozložení dat se statisticky očekávaným normálním rozdělením a vrací testovou statistiku (W) a p-hodnotu. Pokud je p-hodnota menší než předem stanovená hladina významnosti (obvykle 0,05), hypotéza o normálním rozdělení se zamítá (Shapiro & Wilk, 1965).
- Mann-Whitney U test slouží k hodnocení statistické významnosti rozdílů mezi dvěma nezávislými skupinami a je alternativou k parametrickému t-testu pro nezávislé výběry (Mann & Whitney, 1947). Tento test porovnává distribuci hodnot v obou skupinách a vyhodnocuje, zda se statisticky významně liší. K hodnocení věcné významnosti byl použit koeficient *r*, který vychází z hodnoty U testu a odráží velikost efektu (Fritz et al., 2012). Koeficient *r* se vypočítá jako podíl testové statistiky Z a odmocniny z celkového počtu pozorování ($r = Z/\sqrt{N}$), přičemž hodnoty 0,1, 0,3 a 0,5 lze interpretovat jako malé, střední a velké efekty (Cohen, 2013).

4 Výsledky výzkumu

4.1 Úloha č. 1

Když voda chladne z 24 °C na 0 °C a mrzne na led, molekuly vody:

F) jsou uskupeny méně symetricky,
G) se pohybují rychleji,
H) se přestanou pohybovat,
I) se poruší,
J) se pohybují pomaleji.

4.1.1 První vrstva

Celkový počet správných odpovědí v první vrstvě úlohy č. 1 činil 340 z celkových 483 možných odpovědí, což představuje úspěšnost 70 %. Výsledek ukazuje, že podmínkám pohybu molekul při změně teploty více jak dvě třetiny respondentů rozumí. Nesprávně odpovědělo 145, což odpovídá 30 % studentů.

4.1.2 Druhá vrstva

Podrobnější výsledky přinesla analýza druhé vrstvy, Z celkového počtu 483 odpovědí bylo správně odůvodněno pouze 209, což odpovídá 43 %. Naopak 276 odpovědí, tedy 57 %, obsahovalo nesprávné zdůvodnění. Vysoký podíl chybných zdůvodnění poukazuje na potřebu zaměřit se nejen na samotné znalosti, ale i na schopnost studentů porozumět souvislostem a argumentačně podložit své odpovědi.

V odpovědích se objevilo několik častých miskoncepcí, především v chápání pohybu molekul vody při přechodu z kapalného do pevného skupenství. Jedním z nejčastějších omylů bylo přesvědčení, že molekuly vody v ledu se zcela přestanou pohybovat. Někteří studenti uvedli, že „*molekuly v pevném skupenství se nepohybují*“ nebo „*nemají žádnou energii*“. Tento předpoklad je chybný, protože i v pevném skupenství molekuly stále kmitají kolem svých rovnovážných poloh, i když je jejich pohyb výrazně omezený ve srovnání s kapalnou fází.

Další častou miskoncepcí bylo přesvědčení, že molekuly vody se při mrznutí „*slepí k sobě*“ nebo „*shlukují do jedné velké částice*“. Tento omyl naznačuje, že si studenti mohou proces tuhnutí představovat jako mechanické spojování částic do větších celků, podobně jako

například tvorbu hrudek v práškových látkách. Ve skutečnosti se však při mrznutí vody molekuly uspořádávají do pravidelné struktury, kde jsou vázány vodíkovými můstky, ale stále se pohybují v rámci své krystalové mřížky.

Dalším nesprávným tvrzením bylo, že při mrznutí se molekuly vody smrsknou a led má menší objem než voda. To naznačuje nepochopení známé anomálie vody, kdy se její hustota při tuhnutí snižuje, což způsobuje, že led má větší objem než kapalná voda. Někteří studenti se domnívali, že „*molekuly vody se k sobě natěsno přiblíží, tím pádem přestanou být pohyblivé*“. Tento výrok je chybný, protože přestože se molekuly při tuhnutí uspořádávají do pevné struktury, mezimolekulární vzdálenosti v ledu jsou paradoxně větší než v kapalné vodě.

Některé odpovědi ukázaly nesprávné chápání teplotních změn a jejich vlivu na molekuly. Objevily se například výroky, že „*molekuly se pohybují rychleji se zvětšující teplotou*“, které jsou sice správné v kontextu zahřívání, ale nesprávně aplikované na proces tuhnutí. Jiní studenti se domnívali, že „*led je pevná látka a molekuly jsou v něm pevně vázány, tudíž nepodléhají Brownovu pohybu*“. Tato odpověď naznačuje neporozumění tomu, že Brownův pohyb sice v pevných látkách probíhá v mnohem menší míře než v kapalinách, ale zcela nevymizí.

Další chybný koncept se týkal chápání podstaty změny skupenství. Někteří studenti naznačovali, že led je jiná látka než voda a že by měl mít zcela odlišné vlastnosti. Tento omyl ukazuje na nesprávné pochopení principu zachování hmoty a identity chemických látek. Změna skupenství je fyzikální proces, při kterém se nemění chemické složení látky, ale pouze její uspořádání a pohyblivost částic.

Celkově tato analýza ukazuje, že studenti mají sklon zaměňovat změnu skupenství s úplným zastavením pohybu molekul, nesprávně si představují vznik pevné látky jako proces „*slepování*“ částic a chybně interpretují změny objemu vody při mrznutí.

4.1.3 První a druhá vrstva

Správné odpovědi doplněné odpovídajícím zdůvodněním se v této úloze vyskytly celkem ve 198 případech, což odpovídá 41 % všech hodnocených odpovědí. Pokud bychom zohlednili pouze první vrstvu, tedy výběr správné možnosti, dosáhla by úspěšnost 337 odpovědí (70 %). Při započítání druhé vrstvy však došlo k výraznému snížení na 41 %, což představuje propad o 29 procentních bodů. Tento rozdíl naznačuje, že podstatná část studentů sice odpověděla správně, ale nebyla schopna svůj výběr přesvědčivě a věcně zdůvodnit.

Kombinace 1-0, tedy správná odpověď bez správného vysvětlení (falešně pozitivní výsledek), se objevila u 142 studentů (29 %), což může poukazovat na intuitivní nebo odhadnutou volbu bez hlubšího porozumění. Tento vysoký počet falešně pozitivních odpovědí zároveň potvrzuje, jak důležité je zadávat vícevrstvé testy, které umožňují lépe odlišit, zda student skutečně chápe daný koncept, nebo pouze tipuje správnou odpověď.

Naopak 11 studentů (2 %) zvolilo nesprávnou odpověď, ale jejich vysvětlení bylo správné (kombinace 0-1), což může naznačovat určité porozumění, které však nebylo správně aplikováno při výběru odpovědi. Zbylých 132 odpovědí (28 %) spadalo do kombinace 0-0.

Výsledky této úlohy tak jasně ukazují, že vícevrstvé hodnocení umožňuje detailněji odlišit, zda studenti skutečně rozumějí fyzikálním změnám spojeným s tuhnutím vody, nebo pouze mechanicky vybírají odpovědi. Vysoký počet nesouladů mezi první a druhou vrstvou odhaluje mezery v argumentačních dovednostech i v základním chápání molekulového pohybu při změně skupenství.

4.2 Úloha č. 2

Který z uvedených procesů způsobí zvětšení molekul vody?

F) Zmrazení
G) Tání
H) Vypařování
I) Kondenzace
J) Ani jeden z uvedených

4.2.1 První vrstva

Z celkového počtu 483 odpovědí bylo 166 správně označeno, což představuje úspěšnost 34 %. Tento údaj poukazuje na to, že studenti čelili značným obtížím při řešení této vrstvy úlohy, protože 317 odpovědí bylo buď označeno nesprávně, nebo na ně nebylo vůbec odpovězeno. Tento počet tvoří 66 % z celkového počtu odpovědí.

Tento vysoký podíl nesprávných odpovědí nebo nezodpovězených otázek naznačuje, že studenti mají problémy s porozuměním a aplikací znalostí v této úloze. Výsledky zdůrazňují potřebu zaměřit se na oblasti, kde studenti nejsou dostatečně připraveni, a poskytnout jim další podporu.

4.2.2 Druhá vrstva

Z celkového počtu 483 odpovědí bylo správně odůvodněno pouze 131, což odpovídá 27 %. To znamená, že studenti dokázali správně zdůvodnit své odpovědi jen přibližně ve čtvrtině případů. Naopak 352 odpovědí, tedy 73 %, obsahovalo nesprávné zdůvodnění. Tento vysoký podíl chybných odpovědí naznačuje značné obtíže studentů s formulací logických argumentů a pochopením probírané látky.

Nejčastější miskoncepce v odpovědích souvisely s nesprávnými představami o velikosti molekul vody při změně skupenství. Studenti často mylně předpokládali, že molekuly vody se při těchto změnách zvětšují nebo smršťují, namísto toho, aby si uvědomili, že se mění pouze jejich prostorové uspořádání.

Jedním z nejčastějších omylů bylo přesvědčení, že molekuly vody se při zmrazení zvětšují, protože led má větší objem než kapalná voda. Někteří studenti uvedli, že „*molekuly při zmrazení narostou*“ nebo že „*se molekula roztahuje*“. Tato představa je však chybná, protože samotné molekuly vody si zachovávají svou velikost a tvar. Zvětšení objemu ledu je způsobeno změnou mezimolekulárních vzdáleností, které narůstají v důsledku uspořádání molekul do krystalové struktury.

Další rozšířenou miskoncepcí bylo tvrzení, že při změně skupenství dochází ke změně chemické struktury molekul vody. Tento omyl se projevoval odpověďmi, jako například „*molekuly vody se při tuhnutí spojují v nové celky*“ nebo „*led je tvořen jinými molekulami než kapalná voda*“. Takové odpovědi ukazují, že studenti nemají jasnou představu o zachování chemické identity látek během fázových přechodů. Ve skutečnosti molekula H_2O zůstává stejná bez ohledu na to, zda je voda v kapalné, pevné nebo plynné formě.

Další mylná představa souvisela s procesem vypařování. Někteří studenti si chybně mysleli, že molekuly vody se při vypařování fyzicky zvětšují, protože plyn zabírá větší objem než kapalina. Tento omyl vychází z nesprávného předpokladu, že jednotlivé molekuly mění svou velikost, přestože ve skutečnosti se pouze zvětšují vzdálenosti mezi nimi, což způsobuje expanzi plynu.

Objevily se také odpovědi, které chybně interpretovaly vztah mezi hustotou, objemem a velikostí molekul. Například někteří studenti uvedli, že „*led má větší hustotu než kapalná voda, takže molekuly musejí být větší*“. Tento výrok je chybný, protože ve skutečnosti má led nižší hustotu než kapalná voda kvůli svému krystalovému uspořádání, které vytváří více volného prostoru mezi molekulami. Podobně se objevilo tvrzení, že „*voda v plynném skupenství má*

menší hustotu, takže molekuly musejí být menší“, což opět odráží nepochopení toho, že hustota se mění na základě rozložení molekul v prostoru, nikoli jejich individuální velikosti.

Celkově to poukazuje, že studenti často zaměňují změnu skupenství s fyzickými změnami samotných molekul, nerozumí vztahu mezi objemem, hustotou a molekulární strukturou a mají nesprávnou představu o tom, jak se mění vzdálenosti mezi molekulami při různých skupenstvích vody.

4.2.3 První a druhá vrstva

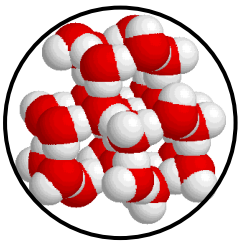
V úloze číslo dvě bylo správně zodpovězených a zároveň zdůvodněných odpovědí (kombinace 1-1) celkem 128 (26 %). Pokud bychom hodnotili pouze první vrstvu, tedy výběr správné odpovědi, činila by úspěšnost 168 odpovědí (34 %). Započtením druhé vrstvy do hodnocení došlo k poklesu úspěšnosti o 8 procentních bodů. Tento rozdíl poukazuje na skutečnost, že část studentů sice odpověděla správně, ale nebyla schopna svou odpověď podpořit odpovídajícím vysvětlením.

Z celkového počtu odpovědí jich 38 (8 %) spadá do kategorie 1-0, kdy byla odpověď sice správná, ale vysvětlení chybné či zcela chybělo. Tito studenti mohli odpovědět správně na základě intuice nebo náhodného odhadu, přičemž jejich vysvětlení naznačuje, že koncept zcela nepochopili. Tento typ falešně pozitivních výsledků znovu potvrzuje význam použití vícevrstvých testů, které umožňují odhalit, že samotná správná odpověď nemusí být známkou pochopení.

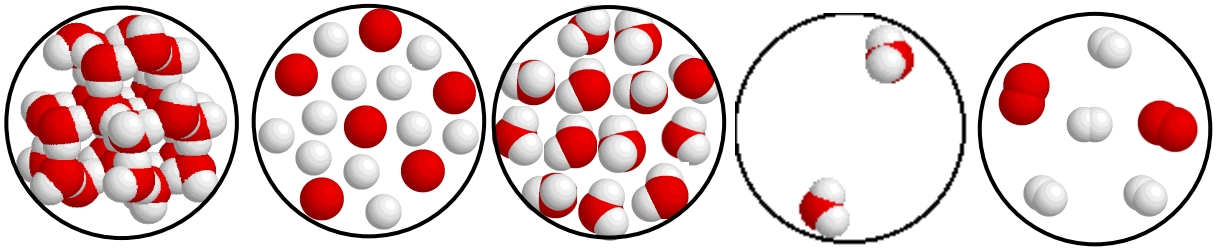
Naopak 3 odpovědi (1 %) spadaly do kategorie 0-1 – tedy chybně označená odpověď doprovázená správným vysvětlením. Tento typ odpovědí poukazuje na určitý stupeň porozumění, který však nebyl přetaven do správného výběru. Zbývajících 341 odpovědí (66 %) bylo chybných jak v první, tak ve druhé vrstvě (kombinace 0-0), což ukazuje na absenci porozumění danému konceptu u většiny respondentů.

4.3 Úloha č. 3

Na obrázku jsou znázorněny molekuly vody v ledu



Vyber obrázek (A-E) nejlépe znázorňující stav, ve kterém mohou být zanedbány mezimolekulové síly mezi molekulami vody.



A. B. C. D. E.

4.3.1 První vrstva

Celkový počet správně označených odpovědí v první vrstvě této úlohy činil 188 z 483, což představuje úspěšnost 39 %. Z toho vyplývá, že počet nesprávně označených odpovědí, nebo otázek, na které studenti vůbec neodpověděli, byl 295, tedy 61 %.

4.3.2 Druhá vrstva

Výsledky druhé vrstvy jsou prezentovány v přiloženém grafu číslo 8. Z celkového počtu 483 odpovědí bylo správně odůvodněno 157, což odpovídá 33 %. To znamená, že většina odpovědí – konkrétně 326, tedy 67 % – obsahovala nesprávné zdůvodnění. Tento výsledek ukazuje, že studenti měli značné potíže s odůvodněním svých odpovědí.

Nejčastější chyby v odpovědích souvisely s nejasným chápáním mezimolekulových sil mezi molekulami vody. Studenti často zaměňovali mezimolekulové a intramolekulové síly, nesprávně interpretovali význam vodíkových můstků a měli nepřesné představy o tom, jak vzdálenost mezi molekulami ovlivňuje jejich vzájemné působení.

Jedním z nejčastějších omylů bylo přesvědčení, že při odstranění mezimolekulových sil dochází k rozpadu molekul vody na jednotlivé atomy. Někteří studenti uvedli, že „*molekuly vody se rozdělí na kyslík a vodík*“ nebo že „*voda se rozloží na jednotlivé prvky*“. Tento omyl vychází z chybného chápání mezimolekulových a vnitřních vazeb – zatímco mezimolekulové síly ovlivňují pouze vzájemné působení celých molekul, vazby uvnitř molekul (O-H) zůstávají neporušené. K jejich rozštěpení by bylo potřeba mnohem větší množství energie, než jaké je nutné k překonání mezimolekulových interakcí.

Dalším častým omylem bylo přesvědčení, že mezi molekulami vody nepůsobí žádné síly, pokud se nacházejí dostatečně daleko od sebe, například v plynném skupenství. Někteří studenti si mylně mysleli, že „*v plynech mezi částicemi neexistují žádné přitažlivé síly*“. Tento koncept je nesprávný, protože i v plynném stavu mezi molekulami působí slabé van der Waalsovy síly, které sice nejsou tak výrazné jako vodíkové vazby v kapalině nebo pevném skupenství, ale stále hrají roli v chování látek.

Podobná chyba se objevila u studentů, kteří se domnívali, že mezimolekulové síly působí pouze v pevném skupenství. Tento omyl se projevil v odpovědích typu „*jen v ledu jsou molekuly vázány vodíkovými vazbami, v kapalině a plynu už ne*“. Ve skutečnosti jsou vodíkové vazby v kapalné vodě stále přítomné, i když jsou méně stabilní a neustále se přerušují a obnovují, čímž dodávají kapalině její specifické vlastnosti.

Další nesprávná zdůvodnění vycházela z nepochopení rozdílu mezi intramolekulárními a mezimolekulárními silami. Někteří studenti se domnívali, že odstranění vodíkových můstků znamená i rozpad samotných molekul vody na vodík a kyslík. Tento omyl ukazuje na nerozlišování mezi vnitřními chemickými vazbami, které drží pohromadě jednotlivé molekuly, a slabými mezimolekulovými interakcemi, které určují skupenství látky.

Celkově analýza ukazuje, že studenti mají tendenci zaměňovat mezimolekulové síly za vazby uvnitř molekul, nesprávně chápou jejich přítomnost v různých skupenstvích a často je vnímají jako zcela přítomné nebo naopak zcela neexistující.

4.3.3 První a druhá vrstva

V této úloze bylo správně zodpovězeno a zároveň odůvodněno 149 odpovědí (31 %) (kombinace 1-1). Pokud bychom hodnotili pouze výběr správné odpovědi v první vrstvě, úspěšnost by činila 187 odpovědí (39 %), tedy o 8 procentních bodů více. Tento propad ukazuje,

že část studentů sice vybrala správnou možnost, ale nebyla schopna svou volbu odpovídajícím způsobem vysvětlit.

Konkrétně 48 studentů (10 %) odpovědělo správně, ale jejich vysvětlení bylo nesprávné nebo chybělo (kombinace 1-0), což může naznačovat odpovědi založené spíše na intuici než na skutečném pochopení.

Naopak 7 studentů (1 %) zvolilo chybnou odpověď, ale připojilo správné vysvětlení (kombinace 0-1), což může svědčit o určitém porozumění principům, které však nebylo přetaveno do správného výběru.

Většina odpovědí – celkem 280 (58 %) – spadala do kombinace 0-0, tedy chybná odpověď i chybné vysvětlení.

Vzhledem k tomu, že úloha testovala porozumění mezimolekulovým silám mezi molekulami vody, výsledky ukazují, že studenti často zaměňovali tyto síly s intramolekulárními vazbami. Vícevrstvé hodnocení zde opět umožnilo odlišit studenty, kteří si pouze tipli správnou odpověď, od těch, kteří dané téma skutečně pochopili, a odhalilo i ty, kteří sice znali princip, ale nedokázali jej správně aplikovat při výběru možnosti.

4.4 Úloha č. 4

Voda (H_2O) a sulfan (H_2S) se skládají z podobných molekul. Za pokojové teploty je voda kapalina, zatímco sulfan je plyn. Tento rozdíl je především dán:

E) silnějšími vazbami mezi molekulami vody než molekulami sulfanu.
F) nižší molární hmotností vody oproti sulfanu.
G) silnějšími vazbami O a H ve srovnání s vazbami S a H.
H) pomalejším pohybem molekul vody oproti molekulám sulfanu.

4.4.1 První vrstva

Celkový počet správně označených odpovědí dosáhl 330 z 483, což znamená úspěšnost 68 %. Z toho lze odvodit, že 153 odpovědí bylo označeno nesprávně nebo zůstalo nezodpovězených, což odpovídá 32 %. Tyto výsledky naznačují, že většina studentů dokázala úspěšně identifikovat správné odpovědi, avšak existuje stále podstatná část, která vyžaduje další podporu a zlepšení.

4.4.2 Druhá vrstva

Ze všech 483 odpovědí bylo správně odůvodněno 202, což představuje 42 % úspěšnost. To znamená, že 281 odpovědí bylo nesprávně odůvodněno, což odpovídá 58 %. Tento výsledek ukazuje, že více než polovina studentů měla potíže s logickým a věcně správným odůvodněním svých odpovědí, což zdůrazňuje potřebu zlepšení jejich analytických a argumentačních dovedností.

Nejčastější chyby se objevily v souvislosti s porozuměním fyzikálním a chemickým vlastnostem vody a sulfanu. Studenti často nesprávně interpretovali vliv mezimolekulových sil na skupenství látek, zaměňovali elektronegativitu kyslíku a síry a měli chybné představy o tom, co ovlivňuje bod varu různých látek.

Jednou z nejrozšířenějších miskoncepcí bylo tvrzení, že rozdíl ve skupenství vody a sulfanu je způsoben molární hmotností. Někteří studenti se domnívali, že sulfan je plyn kvůli své nižší hustotě nebo vyšší molární hmotnosti. To se projevilo v odpovědích jako: „*Nižší molární hmotnost znamená, že sulfan bude mít menší hustotu a tudíž bude plynný*“ nebo „*H_2S má vyšší molární hmotnost, a proto má silnější vazby*“. Ve skutečnosti však molární hmotnost nehraje hlavní roli při určování skupenství látky. Klíčovým faktorem jsou mezimolekulové síly – sulfan netvoří vodíkové můstky, a proto má mnohem nižší bod varu než voda.

Dalším častým omylem bylo zaměňování mezimolekulových a intramolekulových vazeb. Někteří studenti se domnívali, že pokud sulfan netvoří vodíkové můstky, znamená to, že jeho molekuly se mezi sebou vůbec neovlivňují, nebo naopak že se kvůli slabým vazbám rozpadne na jednotlivé atomy. To se objevilo v odpovědích typu: „*Molekuly sulfanu nejsou spojené, běhají všude kolem*“ nebo „*Pokud je vazba silnější, je menší pravděpodobnost přechodu do jiného skupenství*“. Ve skutečnosti sulfan sice nemá vodíkové můstky, ale mezi jeho molekulami stále působí slabší van der Waalsovy síly, které ovlivňují jeho fyzikální vlastnosti.

Další častá chyba souvisela s mylnou představou, že rychlost pohybu molekul přímo ovlivňuje skupenství látky. V odpovědích se objevovaly výroky jako: „*Čím rychleji se molekuly pohybují, tím více se přibližují plynnému stavu*“ nebo „*Molekuly vody se pohybují pomaleji, protože plyn je lehčí*“. Tyto odpovědi naznačují, že studenti nesprávně chápou vztah mezi teplotou, mezimolekulovými silami a skupenstvím. Rychlost pohybu molekul sice souvisí s teplotou, ale rozhodující pro skupenství látky je síla vazeb mezi jednotlivými molekulami.

Někteří studenti také nesprávně předpokládali, že sulfan tvoří vodíkové můstky podobně jako voda. To ukazuje na nepochopení podmínek nutných pro vznik těchto interakcí. V některých

odpovědích se objevily výroky jako: „*H_2S tvoří sulfidové můstky, které jsou slabší než vodíkové můstky*“. Tato odpověď naznačuje neznalost skutečnosti, že síra není dostatečně elektronegativní na to, aby vytvořila silné mezimolekulové vodíkové vazby. Sulfidové můstky nejsou v tomto kontextu reálným chemickým pojmem.

Další chybou bylo domnívat se, že skupenství vody a sulfanu závisí pouze na jejich teplotě tání a varu, aniž by studenti vzali v úvahu roli mezimolekulových sil. Někteří uvedli například: „*Voda má vyšší teplotu varu, tudíž při pokojové teplotě je kapalná*“. I když toto tvrzení není zcela nesprávné, neodráží hlubší pochopení příčiny – voda má vyšší bod varu právě díky vodíkovým můstkům, které mezi jejími molekulami působí a vyžadují více energie k přerušení.

Celkově tato analýza ukazuje, že studenti mají často nejasnosti ohledně mezimolekulových sil a jejich vlivu na skupenství látek. Mezi nejčastější miskoncepce patří zaměňování molární hmotnosti za hlavní faktor určující skupenství, nepochopení rozdílu mezi mezimolekulovými a intramolekulárními silami, nesprávné vnímání pohybu molekul jako rozhodujícího faktoru pro změnu skupenství a mylné přisuzování vodíkových můstků sulfanu.

4.4.3 První a druhá vrstva

V této úloze odpovědělo správně a zároveň poskytlo odpovídající vysvětlení 174 studentů (36 %) (kombinace 1-1). Pokud bychom hodnotili pouze první vrstvu, úspěšnost by dosáhla 329 odpovědí (68 %), což ukazuje, že po započtení druhé vrstvy došlo k poklesu úspěšnosti o 32 procentních bodů. Tento rozdíl poukazuje na to, že velká část studentů sice vybrala správnou možnost, ale nedokázala svůj výběr správně odůvodnit.

To potvrzuje i počet 156 odpovědí (32 %), které spadaly do kategorie 1-0 – tedy správně označená odpověď s chybným nebo žádným vysvětlením, což může značit výběr na základě odhadu nebo neúplného porozumění. Tento falešně pozitivní výsledek opět podtrhuje význam vícestupňového testování.

Kombinaci 0-1 – chybný výběr s připojeným správným odůvodněním – zvolilo 27 studentů (6 %). Zbylých 127 odpovědí (26 %) odpovídalo kombinaci 0-0, tedy neúspěšné v obou vrstvách.

Zjištěné výsledky jsou v souladu s předchozí analýzou druhé vrstvy, která ukázala, že mnoho studentů tápe v chápání mezimolekulových sil, jejich role při určování skupenství a odlišení těchto sil od intramolekulárních vazeb. Právě vícevrstvé hodnocení zde umožnilo zachytit

rozdíl mezi mechanickým výběrem správné odpovědi a hlubším porozuměním chemickým principům, které za ní stojí.

4.5 Úloha č. 5

Předpokládejme, že voda se vaří v kádince 30 minut. Co tvoří bublinky ve vroucí vodě?

F) Vzduch
G) Plynný kyslík a vodík
H) Kyslík
I) Vodní pára
J) Teplo

4.5.1 První vrstva

Počet správně označených odpovědí v první vrstvě této úlohy činil 250 z celkových 483 možných odpovědí, což představuje úspěšnost 52 %. Na základě těchto údajů je zřejmé, že počet nesprávně označených odpovědí nebo otázek, na které studenti vůbec neodpověděli, dosáhl 233, tedy 48 %.

4.5.2 Druhá vrstva

Ze všech 483 odpovědí bylo správně odůvodněno 207, což představuje 43 % z celkového počtu odpovědí. Naopak nesprávně odůvodněných odpovědí bylo 276, tedy 57 %. Tyto výsledky jasně ukazují, že většina odpovědí ve druhé vrstvě nebyla správně zdůvodněna, což naznačuje prostor pro zlepšení v této oblasti.

Nejčastější chyby v odpovědích souvisely s procesem varu vody a tvorbou bublinek v kapalině. Studenti často nesprávně interpretovali rozdíl mezi fyzikální a chemickou změnou, chybně si představovali složení bublinek a mylně se domnívali, že při varu dochází k chemickému rozkladu vody.

Jedním z nejrozšířenějších omylů bylo tvrzení, že při varu dochází k rozkladu vody na vodík a kyslík. Někteří studenti se domnívali, že „*při varu se molekuly vody štěpí na jednotlivé atomy*“ nebo „*dochází k disociaci vody na plynný vodík a kyslík*“. Tato odpověď ukazuje na nepochopení fyzikálního procesu varu – při něm dochází pouze ke změně skupenství, nikoli k

chemickému rozkladu. Skutečné štěpení molekul vody na kyslík a vodík nastává pouze za podmínek extrémních teplot nebo při použití elektrické energie v procesu elektrolýzy, což při běžném varu neprobíhá.

Další častou miskoncepcí bylo přesvědčení, že bublinky vznikající při varu obsahují kyslík nebo vzduch. Někteří studenti tvrdili, že „*bubliny jsou tvořeny kyslíkem rozpuštěným ve vodě, který se uvolňuje při varu*“ nebo „*do vody se dostává vzduch, který pak tvoří bublinky*“. Tento omyl vychází z nesprávného chápání rozdílu mezi rozpuštěnými plyny ve vodě a procesem změny skupenství. I když se při zahřívání vody mohou nejprve uvolnit rozpuštěné plyny, bubliny ve vroucí vodě jsou tvořeny výhradně vodní párou, protože var je charakterizován přechodem kapalné vody do plynného skupenství v celém objemu kapaliny.

Další mylnou představou bylo nesprávné chápání vztahu mezi varným procesem a vypařováním. Někteří studenti se domnívali, že „*var je vypařování v celém objemu, ale zahrnuje i rozklad molekul vody*“ nebo „*při varu dochází ke ztrátě vazeb mezi vodíkem a kyslíkem*“. Tento omyl ukazuje na nepochopení toho, že vypařování je plynulý proces, který probíhá na povrchu kapaliny při jakékoliv teplotě, zatímco var nastává při dosažení bodu varu a je charakterizován tvorbou bublinek vodní páry uvnitř kapaliny.

Objevily se také odpovědi naznačující nesprávné chápání fyzikálních vlastností vodíku a kyslíku. Někteří studenti se domnívali, že „*plynný kyslík a vodík jsou lehčí než voda, a proto se uvolňují jako bubliny*“ nebo „*při vaření se uvolňují kyslík a vodík, které tvoří bubliny*“. Tyto odpovědi ukazují, že studenti si chybně představují vznik bublinek jako důsledek uvolnění jednotlivých prvků vody, namísto procesu vypařování, při kterém se voda mění na vodní páru, ale její chemické složení zůstává nezměněné.

Celkově tato analýza ukazuje, že studenti mají tendenci zaměňovat fyzikální a chemické procesy, přeceňovat vliv rozpuštěných plynů ve vodě a mylně předpokládat, že při varu dochází k chemickému rozkladu vody.

4.5.3 První a druhá vrstva

Ve společném vyhodnocení první a druhé vrstvy odpovědělo správně a zároveň uvedlo odpovídající vysvětlení 192 studentů (40 %) (kombinace 1-1). Pokud bychom zohlednili pouze výběr správné odpovědi, úspěšnost by dosáhla 252 odpovědí (52 %). Rozdíl 12 procentních bodů ukazuje, že část studentů sice zvolila správnou odpověď, ale její vysvětlení již neodpovídalo věcně správnému chápání.

Konkrétně 46 studentů (9 %) spadalo do kombinace 1-0, tedy správná odpověď bez odpovídajícího odůvodnění, což může naznačovat tipování nebo povrchní porozumění.

Naopak 17 studentů (4 %) uvedlo chybnou odpověď, ale jejich vysvětlení odpovídalo správné interpretaci (kombinace 0-1), což může svědčit o určitém, i když ne zcela správně aplikovaném, porozumění danému konceptu. Zbývajících 228 odpovědí (47 %) bylo chybných v obou vrstvách (0-0).

Tato čísla potvrzují předchozí zjištění, že problematika varu a vzniku bublinek je u studentů často zatížena miskoncepcemi. Mnozí zaměňují fyzikální změnu skupenství za chemický rozklad molekul vody a připisují bublinkám nesprávné složení. Právě vícevrstvá konstrukce úlohy umožnila odlišit studenty, kteří chápou, že bublinky jsou tvořeny vodní párou, od těch, kteří si spojitost mezi fázovým přechodem a složením látek vykládají nesprávně.

4.6 Úloha č. 6

Když se voda v kapalném skupenství vypařuje, energie je potřeba k:

E) Rozštěpení vazeb mezi atomy vodíku
F) Rozštěpení vazeb mezi molekulami vodíku a kyslíku v molekulách vody
G) Rozštěpení mezimolekulových sil mezi molekulami vody
H) Vytvoření nových vazeb mezi molekulami vody

4.6.1 První vrstva

Celkový počet správně označených odpovědí v první vrstvě činil 326 z 483 možných odpovědí, což představuje úspěšnost 67 %. Z toho vyplývá, že počet nesprávně označených odpovědí, nebo otázek, na které studenti vůbec neodpověděli, byl 157, což odpovídá 33 %.

4.6.2 Druhá vrstva

Ze všech 483 odpovědí bylo správně odůvodněno 197, což představuje 41 % z celkového počtu odpovědí. To ukazuje, že méně, než polovina odpovědí byla správně podložena zdůvodněním. Naopak nesprávně odůvodněných odpovědí bylo 286, což odpovídá 59 %. Tento poměr naznačuje, že většina odpovědí nebyla adekvátně zdůvodněna, což poukazuje na potřebu zlepšení ve schopnosti studentů správně argumentovat své odpovědi.

Nejčastější chyby v odpovědích studentů se týkaly chápání procesu vypařování vody a vazeb mezi molekulami. Mnoho studentů zaměňovalo mezimolekulární síly s vnitřními chemickými vazbami v molekule vody, nerozuměli roli vodíkových můstků při změně skupenství a mylně si představovali, že při vypařování dochází k rozkladu vody na jednotlivé prvky.

Jedním z častých omylů bylo přesvědčení, že při vypařování dochází k rozpadu molekul vody na atomy vodíku a kyslíku. Studenti uváděli odpovědi jako „*molekuly vody se štěpí na H_2 a O_2*“ nebo „*voda se nejprve rozloží na atomy a pak se může vypařit*“. Tento omyl vychází z chybného chápání fyzikálního procesu vypařování, který spočívá v překonání mezimolekulových sil mezi molekulami vody, aniž by došlo k narušení samotných molekul.

Další rozšířenou miskoncepcí byla představa, že voda při vypařování vytváří nové chemické vazby. Někteří studenti odpověděli, že „*molekuly vody se musí spojit, aby vznikla pára*“ nebo že „*se ve vodní páře tvoří nové vazby mezi kyslíkem a vodíkem*“. Tyto odpovědi ukazují na nepochopení toho, že změna skupenství je způsobena pouze uvolněním mezimolekulových interakcí – konkrétně vodíkových můstků – zatímco samotná chemická struktura molekuly H_2O zůstává zachována.

Někteří studenti si také chybně mysleli, že při vypařování se do okolního vzduchu uvolňuje volný kyslík. Objevila se tvrzení jako „*když se voda vypařuje, kyslík se uvolňuje a stoupá nahoru*“ nebo „*vodíkové můstky se rozpojí a kyslík se oddělí*“. Tento omyl naznačuje, že studenti zaměňují mezimolekulové síly s chemickými vazbami uvnitř samotných molekul vody. Ve skutečnosti se při vypařování rozrušují pouze slabé přitažlivé síly mezi molekulami vody, což jim umožňuje přejít do plynného skupenství, aniž by se změnila jejich chemická podstata.

Další častou chybnou představou bylo tvrzení, že k vypařování je nutné „*rozbít*“ samotné molekuly vody. Někteří studenti uvedli odpovědi jako „*aby se voda mohla vypařit, musí se rozštěpit její molekuly*“. Tento omyl ukazuje na nepochopení rozdílu mezi chemickými vazbami uvnitř molekul a mezimolekulovými silami, které určují skupenství látky.

Celkově tato analýza ukazuje, že studenti často zaměňují chemické vazby s mezimolekulárními silami, nesprávně interpretují proces vypařování a mají zkreslené představy o tom, co se děje na úrovni molekul při změně skupenství.

4.6.3 První a druhá vrstva

V této úloze bylo zaznamenáno 187 odpovědí (39 %), ve kterých studenti správně určili odpověď a zároveň poskytli odpovídající zdůvodnění (kombinace 1-1). Pokud bychom posuzovali pouze první vrstvu, úspěšnost by činila 322 odpovědí (67 %), což znamená, že započtením druhé vrstvy došlo k propadu o 28 procentních bodů. Tento výrazný rozdíl ukazuje, že mnoho studentů sice zvolilo správnou odpověď, ale jejich vysvětlení postrádalo přesnost nebo věcnou správnost.

Odpovědí typu 1-0 bylo 134 (28 %), tedy správná volba bez odpovídajícího zdůvodnění, což může naznačovat intuici či odhad bez hlubšího porozumění. Tento falešně pozitivní výsledek opět podtrhuje důležitost vícevrstvého testování, které umožňuje odlišit skutečné porozumění od mechanického výběru správné odpovědi.

Naopak 19 odpovědí (4 %) spadalo do kombinace 0-1, tedy správné vysvětlení při chybně zvolené možnosti, což může signalizovat částečné porozumění tématu. Zbylých 144 odpovědí (30 %) odpovídalo kombinaci 0-0, tedy chybná odpověď i chybné zdůvodnění.

Tato čísla potvrzují, že studentům činí potíže správně interpretovat proces vypařování, zejména odlišit mezimolekulární interakce od chemických vazeb uvnitř molekul vody. Vícevrstvé vyhodnocení umožnilo lépe rozlišit, kdo danému jevu skutečně rozumí, a odhalit rozpory mezi zvolenou odpovědí a jejím zdůvodněním. Vzhledem k vysokému počtu odpovědí typu 1-0 lze usuzovat, že poměrně velká skupina studentů odpověď spíše odhadla, než pochopila testovaný koncept.

4.7 Třetí vrstva

Třetí vrstva úloh, která reflektuje úroveň sebedůvěry studentů při odpovědích, poskytuje cenné informace o jejich metakognitivním monitoringu.

Celkově se hodnoty průměrné sebedůvěry ve všech šesti úlohách pohybovaly v rozmezí od 2,88 do 3,24, což odpovídá spíše střední úrovni jistoty (viz Tabulka 3). Nejvyšší celková sebedůvěra byla zaznamenána u první úlohy (CF = 3,24), což značí nadprůměrnou jistotu, zatímco nejnižší u čtvrté (CF = 2,88), kde se sebejistota nacházejí již v záporných hodnotách. Tento rozdíl naznačuje míru obtížnosti jednotlivých úloh a míru znalosti daného konceptu, jak potvrzují i výsledky jiných studií pracujících s třístupňovými úlohami (Espinosa et al., 2024; Rusek et al., 2024).

U všech úloh se opakoval vzorec, kdy sebedůvěra studentů při správných odpovědích (CFC) byla vyšší než při odpovědích chybných (CFW). Tento rozdíl bývá považován za základní indikátor funkčního metakognitivního monitorování (Rusek et al., 2024). Například u páté úlohy dosáhla CFC hodnoty 3,67 oproti CFW 2,55, což naznačuje, že studenti si byli oprávněně jistější v případech, kdy odpověděli správně. Podobný trend popsali i Espinosa et al. (2024), kdy hodnoty CFC přesahovaly CFW u většiny úloh, a rozdíl byl využit pro výpočet tzv. „confidence accuracy quotient" jako míry kalibrace studentova sebehodnocení.

Nicméně, CFW zůstávala v některých úlohách poměrně vysoká – např. 2,98 u druhé úlohy či 2,95 u první úlohy. Průměrná sebedůvěra v případě nesprávných odpovědí může indikovat přítomnost tzv. iluze vědění (illusion of knowing) a slabý metakognitivní monitoring, jak uvádějí i Rusek et al. (2024, s. 4592). Jinými slovy, studenti si nebyli vědomi vlastních chyb, což může být závažnou překážkou v procesu učení (Mathabathe & Potgieter, 2014).

Sebedůvěrné zkreslení (CB), které kvantifikuje rozdíl mezi CFC a CFW, se u jednotlivých úloh pohybovalo mezi 0,38 a 0,45. Nejvyšší hodnota CB byla u první úlohy (0,45), což ukazuje na větší rozdíl v sebedůvěře mezi správnými a chybnými odpověďmi, ale také na celkovou tendenci studentů nadhodnocovat správnost svých odpovědí. Espinosa et al. (2024) připomínají, že právě vysoké hodnoty CB poukazují na nadhodnocení vlastní jistoty, což může vést k setrvávání v miskoncepcích a nízké schopnosti identifikovat omyl.

Shrneme-li tyto výsledky, lze konstatovat, že studenti vykazovali určitou schopnost rozlišit mezi správnou a chybnou odpovědí na základě míry sebedůvěry, nicméně míra přesnosti jejich sebehodnocení byla omezená. Poměrně vysoké hodnoty CFW ve spojení s nenulovým CB ukazují na potřebu cílených didaktických intervencí, které by pomohly studentům lépe rozvíjet metakognitivní dovednosti. Zařazení aktivit podporujících sebereflexi, práci s chybou a vědomou analýzu odpovědí by mohlo vést ke zlepšení nejen výsledků, ale především schopnosti studentů učit se z vlastních omylů (Kelly, 2014).

Tabulka 3: Výsledky sebedůvěry studentů

ÚLOHA	Průměrná sebedůvěra (CF)	Sebedůvěra – správné odpovědi (CFC)	Sebedůvěra – chybné odpovědi (CFW)	Sebedůvěrné zkreslení (CB)
1.	3,24	3,62	2,95	0,45
2.	3,12	3,47	2,98	0,42
3.	2,91	3,42	2,69	0,38
4.	2,88	3,54	2,48	0,38
5.	3,00	3,67	2,55	0,40
6.	3,10	3,66	2,73	0,42

4.8 Porovnání výsledků studentů učitelství chemie a odborné chemie

Cílem této části studie bylo zjistit, zda existují rozdíly mezi studenty, kteří studují obory zaměřené na učitelství chemie, a studenty odborných chemických oborů. Analyzovány byly odpovědi studentů na šest otázek, které byly rozděleny do tří vrstev: první vrstva (znalost konceptu), druhá vrstva (důvody pro odpověď) a třetí vrstva (jistota v odpovědi). Podrobné výsledky jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4: Výsledky testu pro jednotlivé otázky.

	1. vrstva	2. vrstva	Jistota
1.	$p = 0{,}704$; $r = 0{,}017$	$p = 0{,}081$; $r = 0{,}079$	$p = 0{,}027$; $r = 0{,}103$ – 2 vyšší hodnoty
2.	$p = 0{,}522$; $r = 0{,}029$	$p = 0{,}795$; $r = 0{,}012$	$p = 0{,}636$; $r = 0{,}082$
3.	$p = 0{,}079$; $r = 0{,}080$	$p = 0{,}098$; $r = 0{,}075$	$p = 0{,}636$; $r = 0{,}022$
4.	$p = 0{,}035$; $r = 0{,}096$	$p = 0{,}082$; $r = 0{,}079$	$p = 0{,}002$; $r = 0{,}144$
5.	$p = 0{,}908$; $r = 0{,}005$	$p = 0{,}660$; $r = 0{,}020$	$p = 0{,}117$; $r = 0{,}073$
6.	$p = 0{,}454$; $r = 0{,}034$	$p = 0{,}251$; $r = 0{,}052$	$p = 0{,}040$; $r = 0{,}095$ – 2 vyšší hodnoty

Z výsledků testů je zřejmé, že ve většině případů nejsou mezi odpověďmi studentů učitelství chemie a studenty odborné chemie statisticky významné rozdíly. Ve všech případech, kde byl nalezen statisticky významný rozdíl, hodnoty věcné významnosti ukazují na zanedbatelný rozdíl

Celkově lze konstatovat, že zvolený obor studia nemá významný vliv na odpovědi studentů na sledované otázky týkající se chemických konceptů. I když byly nalezeny statisticky významné rozdíly v míře jistoty u některých otázek, velikost těchto rozdílů byla zanedbatelná. Tato analýza potvrzuje, že rozdílné zaměření studijního programu neovlivňuje zásadním způsobem výkony studentů a jejich jistotu v odpovědích.

Tento systematický přístup k analýze dat poskytuje důležitý vhled do toho, jak různé faktory, jako je studijní obor, mohou ovlivňovat studenty. Přesnější pochopení těchto vlivů může přispět k lepšímu přizpůsobení výukových metod a intervencí, které budou lépe odpovídat potřebám studentů v různých vzdělávacích kontextech.

5 Implikace

Získané výsledky výzkumu přinášejí několik důležitých podnětů pro praxi výuky chemie na středních i vysokých školách. Především se ukazuje, že ačkoli studenti v poměrně vysoké míře zvládají uzavřená testová zadání (první vrstva), mají výrazné obtíže při odůvodnění svých odpovědí (druhá vrstva) a vykazují nejistotu či sebedůvěrné zkreslení (třetí vrstva). Tyto výsledky naznačují, že současná výuka chemie nedostatečně rozvíjí hlubší porozumění konceptům, schopnost logické argumentace a metakognitivní dovednosti studentů.

Jednou z hlavních implikací je potřeba systematického zaměření na identifikaci a práci s miskoncepcemi. Jak ukazují výsledky této studie i dřívější výzkumy (Gabel, 1999; Taber, 2002), žáci si často vytvářejí mylné představy o základních chemických principech, které jsou velmi stabilní a obtížně se mění. Vhodnou metodou se v tomto ohledu ukazují třívrstvé úlohy, které umožňují učiteli nejen zjistit, zda student zná správnou odpověď, ale i pochopit, jak o daném konceptu uvažuje a s jakou mírou jistoty. Následně je možné dostatečně reflektovat alternativní koncepce či miskoncepce a dosáhnout tak vyšší kalibrace správnosti řešení úloh.

Dalším důležitým zjištěním je nízká úroveň argumentačních dovedností. Mnoho studentů nedokázalo své odpovědi logicky a věcně podložit, což naznačuje, že běžná výuka chemie tyto schopnosti nerozvíjí systematicky. V této souvislosti je žádoucí zařadit do výuky explicitní výuku argumentace, včetně práce s argumentačními schématy (Driver et al., 1994), diskusními metodami a písemnými úlohami, které vyžadují strukturované zdůvodnění odpovědí.

Dále se ukazuje potřeba podpořit vizualizaci molekulárních procesů, neboť mnohé miskoncepce pramení z nesprávného mentálního modelu o mikroskopické struktuře látek. Využití interaktivních simulací, animací nebo modelovacího softwaru může studentům usnadnit pochopení abstraktních pojmů, jako jsou mezimolekulové síly, skupenské přeměny nebo zachování identity molekul při změně skupenství (Sanger & Greenbowe, 2000).

Za důležitý přístup lze považovat i zařazení tzv. submikroskopických modelů dle Johnstona (1991), které propojují makroskopické pozorování (např. var, tání) s mikroskopickým vysvětlením (struktura molekul, síly mezi částicemi) a symbolickou reprezentací (vzorce, rovnice). Tyto modely pomáhají studentům lépe chápat souvislosti mezi různými úrovněmi chemického poznání (Gilbert & Treagust, 2009; Talanquer, 2011).

Výsledky výzkumu rovněž naznačují potřebu rozvíjet metakognitivní dovednosti studentů, konkrétně schopnost monitorovat a reflektovat vlastní myšlení a úroveň jistoty v odpovědích.

Třetí vrstva testu, která měří sebedůvěru, ukázala, že studenti mají tendenci nadhodnocovat své znalosti i při chybných odpovědích. Toto tzv. sebedůvěrné zkreslení může být redukováno systematickým tréninkem sebehodnocení, zpětnou vazbou a zapojením reflexivních aktivit (Schraw & Moshman, 1995).

Celkově výsledky výzkumu naznačují, že tradiční výukové přístupy, které se zaměřují především na předávání faktů, je třeba doplnit o strategie podporující hlubší porozumění, kritické myšlení, argumentaci a schopnost reflexe. Jedině tak lze účinně přispět ke kvalitnějšímu porozumění chemickým jevům a jejich aplikacím v reálném světě.

6 Diskuse a závěr

Tato diplomová práce se zaměřila na identifikaci úrovně konceptuálního porozumění chemickým jevům u studentů prvního ročníku vysokých škol s využitím třívrstvých úloh. Výzkum navázal na současné trendy ve vzdělávání chemie, které zdůrazňují potřebu zjišťovat nejen faktické znalosti studentů, ale také schopnost logického zdůvodnění a míru jistoty v odpovědích (Espinosa et al., 2024).

Výsledky první vrstvy testových úloh ukázaly, že značná část studentů zvládla správně určit odpověď v uzavřeném formátu – ve většině úloh přesahovala úspěšnost 50 %. Tento výsledek by mohl na první pohled působit jako známka slušné úrovně znalostí. Ve skutečnosti je však spíše znepokojující, že i u maturantů, u nichž lze očekávat zvládnutí základních chemických pojmů na vysoké úrovni, se úspěšnost nedostala ani blízko ke 100 %.

Podrobnější analýza totiž ukázala, že jen menšina studentů byla zároveň schopna svou odpověď věcně a logicky odůvodnit – například v úloze č. 2 správně odůvodnilo odpověď pouze 27 % studentů. Po započtení druhé vrstvy úloh do hodnocení se tak úspěšnost výrazně propadla.

Tento rozdíl mezi výběrem odpovědi a schopností jejího zdůvodnění naznačuje, že studenti často „tuší správnou odpověď“, aniž by rozuměli jejímu chemickému pozadí. Takový projev tzv. mělkého porozumění (Kind, 2004) naznačuje, že jejich znalosti nejsou pevně ukotvené ve vědeckých strukturách, ale spíše povrchní či intuitivní.

S ohledem na to, že úlohy testovaly základní koncepty probírané v rámci všeobecného středního vzdělávání, lze takto nízké hodnoty považovat za důkaz vážných mezer ve věcném porozumění, které by v této fázi vzdělávání již neměly přetrvávat.

V řadě odpovědí se objevily miskoncepce, které jsou dlouhodobě dokumentovány i v předchozí literatuře (Gabel, 1999; Taber, 2002; Talanquer, 2011). Například studenti často zaměňovali mezimolekulové síly za chemické vazby, domnívali se, že var znamená chemickou změnu, nebo že molekuly vody se při změně skupenství zvětšují. Tyto představy odhalují nedostatečné propojení mezi makroskopickou a mikroskopickou úrovní chemických jevů, což je jeden z hlavních problémů výuky chemie již od základního a středního vzdělávání (Gilbert & Treagust, 2009).

Významným přínosem studie je využití třetí vrstvy úloh, tedy měření jistoty studentů v odpovědích. Výsledky ukazují, že studenti byli obecně sebejistí spíše při správných odpovědích (CFC 3,4–3,7), ale v některých případech vykazovali vysokou míru jistoty i při chybných

odpovědích (CFW 2,5–3,0). Tento jev, popsaný jako sebedůvěrné zkreslení (confidence bias), potvrzují i výzkumy v oblasti metakognice a rozhodovacích procesů (Stankov & Crawford, 1997; Schraw & Dennison, 1994). Jeho přítomnost poukazuje na slabší úroveň metakognitivního monitorování – tedy schopnosti studentů reflektovat a hodnotit správnost vlastního myšlení.

Srovnání skupiny studentů učitelství chemie a odborných chemických oborů neprokázalo významné rozdíly v konceptuálním porozumění ani argumentaci. Statisticky významné rozdíly se objevily pouze u míry jistoty v odpovědích ve dvou úlohách, přičemž i zde byla věcná významnost nízká. Tento výsledek potvrzuje závěry studie Ruska et al. (2022), která ukázala, že studenti přicházející z různých typů středních škol vstupují na vysokou školu s obdobnou úrovní dovedností a porozumění chemii, bez ohledu na zaměření budoucího studijního oboru.

Celkově lze shrnout, že studenti sice zvládají základní chemické znalosti, ale jejich hlubší porozumění a schopnost logického vysvětlení jsou výrazně slabší. Přetrvávající miskoncepce a nedostatečná metakognice představují výzvu pro výuku chemie na všech úrovních. Výsledky této studie poskytují důležitý vhled do myšlení studentů a ukazují na nutnost zavedení takových výukových přístupů, které budou rozvíjet nejen znalosti, ale také porozumění, reflexi a argumentaci jako nedílnou součást přírodovědného myšlení.

Na základě těchto zjištění se jeví jako nezbytné systematicky rozvíjet konceptuální porozumění chemie již v průběhu základního a středního vzdělávání. Do budoucna by, po vzorů ze zahraničí, bylo přínosné zaměřit výzkum na vývoj a implementaci výukových intervencí, které by cílily na nejčastější miskoncepce a rozvíjely metakognitivní dovednosti žáků a studentů. Tyto intervence by bylo vhodné důsledně opírat o porozumění modelům, tedy práci se sub-mikrospopickými reprezentacemi. Zvláštní pozornost z pohledu přípravy budoucích učitelů i dalšího vzdělávání pedagogických pracovníků by si zasloužila integrace vícevrstvých úloh do běžné výuky. Dále by bylo vhodné sledovat vývoj konceptuálního porozumění v delším časovém horizontu – například napříč jednotlivými ročníky studia – a porovnávat rozdíly mezi různými typy škol a vzdělávacích programů. Podpora hlubšího porozumění, schopnosti argumentace a sebereflexe by měla být nedílnou součástí moderní výuky chemie, která směřuje k přírodovědné gramotnosti a dlouhodobému využití získaných poznatků v praxi.

7 Použitá literatura

Akcanca, N., & Özsevgeç, L. C. (2020). Effect on Academic Achievement and Misconceptions of Pre-Service Teachers through Combining Different Teaching Methods in a Preschool Science Course. *Journal of Science Learning*, *4*(1), 41–49. https://doi.org/10.17509/jsl.v4i1.24672

Barker, V. (1995). *A longitudinal study of 16-18 year olds' understanding of basic chemical ideas, unpublished Ph. D*. thesis, Department of Educational Studies, University of York. https://www.semanticscholar.org/paper/A-longitudinal-study-of-16-18-year-old-students%27-of-Barker/174a74698ee3b6d892c91ceac63e3fbcbcfc9f34

Beneš, P., Janoušek, R., & Novotný, M. (2009). Hodnocení obtížnosti textu středoškolských učebnic. *Pedagogika*, *59(3)*, 291–297. https://pages.pedf.cuni.cz/pedagogika/files/2013/12/P_2009_3_06_Hodnocen%C3%AD_291_297.pdf

Beneš, P., Pumpr, V., & Banýr, J. (1999a). *Základy praktické chemie 2*. Fortuna, Praha.

Beneš, P., Pumpr, V., & Banýr, J. (1999b). *Základy praktické chemie 2*. Fortuna, Praha.

Beveridge, M. (1985). The development of young children's understanding of the process of evaporation. *British Journal of Educational Psychology*, *55*(1), 84–90. https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1985.tb02618.x

Bol, L., & Hacker, D. J. (2012). Calibration research: Where do we go from here? *Frontiers in Psychology*, *3*, 229. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00229

Briggs, H., & Holding, B. (1986). *Aspects of Secondary Student's Understanding of Elementary Ideas in Chemistry: Full Report*. Children's Learning in Science Project, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds. https://www.stem.org.uk/x8d72

Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education The University of Leeds. https://www.stem.org.uk/x8ddo

Butterfield, B., & Metcalfe, J. (2006). The correction of errors committed with high confidence. *Metacognition and Learning*, *1*, 69–84. https://doi.org/10.1007/s11409-006-6894-z

Caleon, I., & Subramaniam, R. (2010). Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves. *International Journal of Science Education*, *32*(7), 939–961. https://doi.org/10.1080/09500690902890130

Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, *14*(2), 161–199. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1

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*. http://hdl.handle.net/20.500.11956/150260

Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203771587

Cordova, J. R., Sinatra, G. M., Jones, S. H., Taasoobshirazi, G., & Lombardi, D. (2014). Confidence in prior knowledge, self-efficacy, interest and prior knowledge: Influences on conceptual change. *Contemporary Educational Psychology*, *39*(2), 164–174. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.02.001

Cosgrove, M. R., & Osborne, R. (1981). Physical change: A working paper of the Learning in Science Project (no. 26). *University of Waikato, Hamilton, New Zealand*. https://eric.ed.gov/?id=ED236009

Čtrnáctová, H., & Zajíček, J. (2010). The Education and Teaching of Chemistry in the Czech Republic Today. *Chemické Listy*, *104*(8), 678–683. http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/1314

Dewi, F. C., Parlan, P., & Suryadharma, I. B. (2020). Development of four-tier diagnostic test for identifying misconception in chemical equilibrium. *AIP Conference Proceedings*, *2215*(1). https://doi.org/10.1063/5.0000510

Doran, R. L. (1980). *Basic Measurement and Evaluation of Science Instruction.* ERIC. https://eric.ed.gov/?id=ED195403

Doulík, P. (2005). *Geneze dětských pojetí vybraných fenoménů*. Univerzita JE Purkyně.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, *23*(7), 5–12. https://doi.org/10.3102/0013189X023007005

Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, *25*(6), 671–688. https://doi.org/10.1080/09500690305016

Efklides, A. (2006). Metacognition and affect: What can metacognitive experiences tell us about the learning process? *Educational Research Review*, *1*(1), 3–14. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2005.11.001

Eggen, P.-O., Persson, J., Jacobsen, E. E., & Hafskjold, B. (2017). Development of an inventory for Alternative Conceptions among students in chemistry. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, *5*(1), 1–11. https://doi.org/10.31129/LUMAT.5.1.115

Erduran, S., & Scerri, E. (2002). The nature of chemical knowledge and chemical education. In *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 7–27). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_1

Espinosa, A. A., Koperová, D., Kuhnová, M., & Rusek, M. (2024). Preservice Chemistry Teachers' Conceptual Understanding and Confidence Judgment: Insights from a Three-Tier Chemistry Concept Inventory. *Journal of Chemical Education*, *102*(1), 53–65. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01146

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American Psychologist*, *34*(10), 906-911. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Fritz, C. O., Morris, P. E., & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(1), 2-18. https://doi.org/10.1037/a0024338

Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, *76*(4), 548-554. https://doi.org/10.1021/ed076p548

Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). *Multiple representations in chemical education* (Vol. 4). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, *30*(3), 141–158. https://doi.org/10.1119/1.2343497

Hrabal, V., & Pavelková, I. (2010). Jaký jsem učitel. 1. vyd. Praha. *Portál*, *s 240*.

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

Kelly, R. M. (2014). Using variation theory with metacognitive monitoring to develop insights into how students learn from molecular visualizations. *Journal of Chemical Education*, *91*(8), 1152–1161. https://doi.org/10.1021/ed500182g

Kind, V. (2004). *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*. London: Royal Society of Chemistry. https://edu.rsc.org/resources/beyond-appearances-students-misconceptions-about-basic-chemical-ideas/2202.article

Kiviniemi, T., Eggen, P.-O., Persson, J., Hafskjold, B., & Jacobsen, E. (2018). Development of a chemistry concept inventory for general chemistry students at Norwegian and Finnish universities. In A. Pálsdóttir (Ed.), *Science competencies for the future : Proceedings of the 12th Nordic Research Symposium on Science Education (NFSUN 2017)* (pp. 73-79). Norwegian University of Science and Technology. http://nfsun.org/wp-content/uploads/2018/05/NFSUN_PROCEEDINGS_2017-Final-1.pdf

Kiviniemi, T., & Nuora, P. (2020). Evaluation of a Chemistry Concept Inventory for general chemistry students at Finnish university. *NorDiNa*, *16*(2), 1-15. https://doi.org/10.5617/nordina.7014

Kline, P. (1986). *A handbook of test construction: Introduction to psychometric design. New York: Methuen*. Inc.

Kocová, T., & Marada, M. (2022). Percepce obtížnosti učiva ve výuce geografie jako faktor podmiňující vznik miskonceptů. *Geografie*, *127*(2), 169–193. https://doi.org/10.37040/geografie2022127020169

Krause, S., Birk, J., Bauer, R., Jenkins, B., & Pavelich, M. J. (2004). Development, testing, and application of a chemistry concept inventory. In *34th Annual Frontiers in Education Conference, 2004. FIE 2004.* (pp. T1G-1–T1G-6). IEEE. https://doi.org/10.1109/FIE.2004.1408511

Kruger, C., & Summers, M. (1989). An Investigation of Some Primary Teachers' Understanding of Changes in Materials. *School Science Review*, *71*(255), 17–27. https://eric.ed.gov/?id=EJ406091

Krumlová, E. (2022). *Hodnocení vizuálních reprezentací využitých v učebnicích chemie pro ZŠ v tématech kyselin, zásad a neutralizace* [Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta]. https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/172659

Kuder, G. F., & Richardson, M. W. (1937). The theory of the estimation of test reliability. *Psychometrika*, *2*(3), 151–160. https://doi.org/10.1007/BF02288391

Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 50–60. https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491

Mareš, J. (2013). *Pedagogická psychologie*. Portál Praha.

Mathabathe, K. C., & Potgieter, M. (2014). Metacognitive monitoring and learning gain in foundation chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, *15*(1), 94–104. https://doi.org/10.1039/C3RP00103J

Medek, P. (2022). *Analýza školních vzdělávacích programů na pražských základních školách se zaměřením na vzdělávací obor chemie* [Bakalářská práce, Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta]. https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/172619

Milenković, D. D., Hrin, T. N., Segedinac, M. D., & Horvat, S. (2016). Development of a three-tier test as a valid diagnostic tool for identification of misconceptions related to carbohydrates. *Journal of Chemical Education*, *93*(9), 1514–1520. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00261

Millar, R. (1989). What Use are Particle Ideas to Children?, ponencia presentada en el seminario "Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education", Centre for Science and Mathematics Education, University of Utrecht, *October*, *22*-26.

MŠMT. (2021). Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání. *Praha, j.: MSMT-40117/2020-4*. https://www.nuv.cz/file/4983/

MŠMT, Č. R. (2007). Rámcový vzdělávací program pro gymnázia. *Https://Www.Edu.Cz/Wpcontent/Uploads/2020/08/RVPG-2007-07_final.Pdf*.

Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, *79*(6), 739-744. https://doi.org/10.1021/ed079p739

Nelson, T. O. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 26, pp. 125–173). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60053-5

Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, *62*(3), 273–281. https://doi.org/10.1002/sce.3730620303

Nyachwaya, J. M., Mohamed, A.-R., Roehrig, G. H., Wood, N. B., Kern, A. L., & Schneider, J. L. (2011). The development of an open-ended drawing tool: an alternative diagnostic tool for assessing students' understanding of the particulate nature of matter. *Chemistry Education Research and Practice*, *12*(2), 121–132. https://doi.org/10.1039/C1RP90016B

Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, *20*(9), 825–838. https://doi.org/10.1002/tea.3660200905

Peşman, H., & Eryılmaz, A. (2010). Development of a three-tier test to assess misconceptions about simple electric circuits. *The Journal of Educational Research*, *103*(3), 208–222. https://doi.org/10.1080/00220670903383002

Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *The child's construction of quantities: Conservation and atomism* (Vol. 2). Psychology Press. https://doi.org/10.4324/9781315006253

Průcha, J. (1984). Hodnocení obtížnosti učebnic. *SNTL*.

Průcha, J., Walterová, E., & Mareš, J. (2003). Pedagogický slovník. 4. aktualiz. vyd. *Praha: Portál*.

Putica, K. B. (2023). Development and validation of a four-tier test for the assessment of secondary school students' conceptual understanding of amino acids, proteins, and enzymes. *Research in Science Education*, *53*(3), 651–668. https://doi.org/10.1007/s11165-021-10018-6

Rusek, M. (2013). *Výzkum postojů žáků středních škol k výuce chemie na základních školách*. http://hdl.handle.net/20.500.11956/57481

Rusek, M., Stárková, D., Metelková, I., & Beneš, P. (2016). Hodnocení obtížnosti textu učebnic chemie pro základní školy. *Chemické Listy*, *110*(12), 953-958. http://ww.w.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke- listy/article/view/132/132

Rusek, M., Tóthová, M., Chytrý, V., & Říčan, J. (2024). Students' ability to work with the periodic table: The use of three-tier tasks. *Journal of Chemical Education*, *101*(11), 4590–4602. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00345

Rusek, M., Vojíř, 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*, 371–377. https://doi.org/10.17344/acsi.2021.7250

Rusek, M., Vojír, K., & Šubová, Š. (2020). Lower-secondary school chemistry textbooks' didactic equipment. *Chemistry, Didactics, Ecology, Metrology*, *25*((1-2)), 69-77. https://doi.org/10.2478/cdem-2020-0004

Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (2000). Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. *International Journal of Science Education*, *22*(5), 521–537. https://doi.org/10.1080/095006900289750

Scerri, E. (2004). *The periodic table: its story and its significance*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780195305739.001.0001

Scerri, E. (2007). *Philosophy of Chemistry: Growth and Development*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195322668.001.0001

Schraw, G., & Moshman, D. (1995). Metacognitive theories. *Educational Psychology Review*, *7*, 351–371. https://doi.org/10.1007/BF02212307

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, *52*(3–4), 591–611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591

Shulman, L. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, *57*(1), 1–23. https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411

Škoda, J., & Doulík, P. (2011). *Psychodidaktika: metody efektivního a smysluplného učení a vyučování*. Grada.

Škoda, J., Doulík, P., Šmídl, M., & Pelikánová, I. (2018). *Chemie 8: pro základní školy a víceletá gymnázia*. Fraus.

Smith III, J. P., DiSessa, A. A., & Roschelle, J. (1994). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, *3*(2), 115–163. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0302_1

Sözbilir, M., Pınarbaşı, T., & Canpolat, N. (2010). Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *6*(2), 111–120. https://doi.org/10.12973/ejmste/75233

Sreenivasulu, B., & Subramaniam, R. (2013). University students' understanding of chemical thermodynamics. *International Journal of Science Education*, *35*(4), 601–635. https://doi.org/10.1080/09500693.2012.683461

Stankov, L., & Crawford, J. D. (1997). Self-confidence and performance on tests of cognitive abilities. *Intelligence*, *25*(2), 93–109. https://doi.org/10.1016/S0160-2896(97)90039

Stavy, R. (1990a). Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, *27*(3), 247–266. https://doi.org/10.1002/tea.3660270308

Stavy, R. (1990b). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, *12*(5), 501–512. https://doi.org/10.1080/0950069900120505

Stavy, R., & Stachel, D. (1985). Children's ideas about 'solid'and 'liquid.' *European Journal of Science Education*, *7*(4), 407–421. https://doi.org/10.1080/0140528850070406

Švandová, K., & Kubiatko, M. (2012). Faktory ovlivňující postoje studentů gymnázií k vyučovacímu předmětu chemie. *Scientia in Educatione*, *3*(2), 65–78. https://doi.org/10.14712/18047106.37

Taber, K. (2002). *Chemical misconceptions: prevention, diagnosis and cure* (Vol. 1). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781847551903

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

Tümay, H. (2016). Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chemistry Education Research and Practice*, *17*(2), 229–245. https://doi.org/10.1039/C5RP00146H

Vojíř, K., & Rusek, M. (2022). Of teachers and textbooks: lower secondary teachers' perceived importance and use of chemistry textbook components. *Chemistry Education Research and Practice*, *23*(4), 786–798. https://doi.org/10.1039/D2RP00025K

Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. *International Handbook of Research on Conceptual Change*, *1*, 3–34. https://doi.org/10.4324/9780203879759