

Metodičko znanje o kemijskim vezama s naglaskom na jezična pitanja u Republici Hrvatskoj

Vladušić, Roko

Doctoral thesis / Disertacija

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, University of Split, Faculty of science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:166:394728>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-26**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)





PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

mr. sc. Roko Vladušić

**METODIČKO ZNANJE O KEMIJSKIM
VEZAMA S NAGLASKOM NA JEZIČNA
PITANJA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

Split, 2017.



PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

mr. sc. Roko Vladušić

**METODIČKO ZNANJE O KEMIJSKIM
VEZAMA S NAGLASKOM NA JEZIČNA
PITANJA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

DOKTORSKI RAD

MENTOR: prof. dr. sc. Robert Bucat

Split, 2017.



FACULTY OF SCIENCE

Roko Vladušić, M.Sc.

**PEDAGOGICAL CONTENT
KNOWLEDGE ABOUT CHEMICAL
BONDING WITH PARTICULAR FOCUS
ON LANGUAGE ISSUES IN CROATIA**

DOCTORAL THESIS

SUPERVISOR: professor Robert Bucat, Ph.D.

Split, 2017.

ZAHVALA

Ovim se putem želim zahvaliti osobama koje su mi pomogle u pripremi, provedbi i vrednovanju ovog doktorskog istraživanja i rada. Prije svih, zahvaljujem se svome mentoru, prof. dr. sc. Bobu Bucatu, iznimnom čovjeku, iznimnom nastavniku i iznimnom znanstveniku. Ne vjerujem da postoji itko na svijetu tko bi svoga doktoranda kroz istraživanje vodio s toliko žara, pozitivne energije, predanosti, upornosti, strpljenja, a nadasve stručnosti i metodičnosti. Činjenica da se godinama ustajao u 4:00 sata ujutro, jednom ili više puta tjedno, samo kako bi sa mnom raspravljao o svakom djeliću ovog projekta, tek je jedan od mnoštva detalja koji slikovito svjedoče o njegovoj veličini. Dragi Bob, nema načina ni instrumenta kojim bi se mogao izmjeriti značaj Vašeg pozitivnog utjecaja na moj život i život moje obitelji! Svaki trenutak proveden s Vama bila je prilika za učenje, ako ne o metodici nastave kemije ili kemiji, onda o životu. Najmanje što mogu učiniti jest od srca se zahvaliti na svemu. Velika, velika hvala!

Ovom su istraživanju značajno doprinijele i moje, ne samo kritičke, prijateljice, Mia Ožić i mr. sc. Marina Luetić. Draga Mia, iskreno se zahvaljujem na pomoći pri obradi i evaluaciji podataka, sudjelovanju u konstruktivnim raspravama, intervjuima i fokusnim grupama te na činjenici da sam na tebe uvijek mogao računati. Ti si još jedna osoba koja me je u proteklom periodu obogatila svojom čovječnošću.

Draga Marina, hvala i tebi na podršci u provedbi istraživanja i vrednovanju rezultata. Iako je dio istraživanja obavljen u tvojoj učionici ostao izvan fokusa ove disertacije (zaista bi bilo preopširno da sam i njega uključio), bez tvog doprinosa ovo istraživanje ne bih mogao zamisliti.

Zahvaljujem se studenticama i studentima s PMF-a Sveučilišta u Splitu, posebice diplomcima, danas nastavnicima biologije i kemije, koji su proteklih godina dragovoljno i, dojmama sam, zainteresirano sudjelovali u različitim etapama ovog istraživanja. Hvala i studentima s PMF-a u Zagrebu i sa Sveučilišta Josipa Juraja Strossmayera iz Osijeka te učenicima iz različitih regija Republike Hrvatske.

Velika hvala učiteljima te srednjoškolskim i sveučilišnim nastavnicima kemije iz cijele države koji su pomogli provedbom pojedinih instrumenata ili sudjelovanjem u ulozi ispitanika. Bez njihova truda ova disertacija ne bi bila potpuna.

Hvala ocjenjivačima, izv. prof. dr. sc. Nenadu Judašu, prof. dr. sc. Deanu Ajdukoviću, prof. dr. sc. Silviji Markić, doc. dr. sc. Tonći Jukić i doc. dr. sc. Stjepanu Orhanoviću na vremenu kojeg su odvojili i trudu kojeg su uložili za vrednovanje ovog rada te na korisnim komentarima i preporukama.

Koristim priliku obratiti se i svojim roditeljima koji su me uvijek podržavali i vjerovali da će ovakav trenutak jednom doći. Hvala majko. Hvala *ćaća*.

Konačno, posebno bih se zahvalio svojoj ženi i djeci koji daju smisao i boju mome životu. Hvala najdraža Bene na strpljenju, vjeri i podršci koju si mi uvijek pružala, na razumijevanju u trenucima kad sam fizički bio blizu, a zapravo daleko. Sve mi ovo i nije bilo teško jer sam kao oslonac imao tebe. *Lipa* moja *dico*, Marta i Ante, žao mi je zbog trenutaka i dana kad sam vrijeme u vašoj blizini provodio, kako bi vi znali reći, na *auto-pilotu*. Nadam se da ćemo to nadoknaditi već u najbližoj budućnosti.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Splitu

Doktorska disertacija

Prirodoslovno-matematički fakultet

Poslijediplomski sveučilišni studij

Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti

METODIČKO ZNANJE O KEMIJSKIM VEZAMA S NAGLASKOM NA JEZIČNA PITANJA U REPUBLICI HRVATSKOJ

mr. sc. ROKO VLADUŠIĆ

Prirodoslovno-matematički fakultet

Ruđera Boškovića 33, 21 000 Split, Hrvatska

Sažetak

Prepoznajući važnost, ali i *problematicnost* razumijevanja modela kovalentnog i ionskog vezivanja, osmišljeno je i provedeno istraživanje o poteškoćama i nastavnim rješenjima za osnaživanje metodičkog znanja (MZ) o kemijskom vezivanju. Postavljena su tri cilja: (a) utvrditi studentsko razumijevanje određenih riječi i simbola koje se koristi u nastavi kemije te pratiti osviještenost budućih nastavnika o pozornosti koju treba pridati jeziku nastave kemije; (b) istražiti razumijevanje modela ionskog i kovalentnog vezivanja na svim razinama obrazovnog sustava u Republici Hrvatskoj (RH) i (c) osmisliti metodu za dijagnozu pogrešnih poimanja budućih nastavnika kemije o ionskom i kovalentnom vezivanju, rekonstrukciju znanja predmetnog sadržaja i identifikaciju pokazatelja MZ-a te istražiti njezine istraživačke i nastavne potencijale. S obzirom na ciljeve, istraživanje je organizirano u tri cjeline: u prvoj su istraživani problemi jezika, u drugoj razumijevanje modela kovalentnog i ionskog vezivanja, a u trećoj dijagnostički i edukacijski potencijali metode *Otvoreni intervju*. Primijenjene su različite kvantitativne i kvalitativne metode i

instrumenti. U pojedinim su fazama istraživanja sudjelovali učenici srednjih škola, studenti prirodoslovno-matematičkih fakulteta i srednjoškolski nastavnici kemije. Mnogi studenti uključeni u ovo istraživanje nisu iskazali zadovoljavajuće razumijevanje značenja tehničkih (znanstvenih) pojmova, simboličkih prikaza i svakodnevnih riječi koje se koriste u učenju i poučavanju kemijskog vezivanja, odnosno kemije općenito. Predodžbe studenata o učeničkom razumijevanju razmatranih pojmova nisu stabilne. Najčešće se temelje na vlastitom znanju. Utvrđeno je da se OZO metodom može povećati svijest studenata o postojanju poteškoća s razumijevanjem riječi i simbola nastave kemije. Neadekvatno je znanje o ionskom i kovalentnom vezivanju utvrđeno na svim razinama obrazovanja u RH. Evidentirana su brojna pogrešna poimanja. Uz potvrđeni potencijal metode za stjecanje MZ-a budućih nastavnika kemije, OI se pokazao učinkovitom metodom za identifikaciju i ispravljanje pogrešnih poimanja. Ipak, za postizanje dugotrajnih učinaka preporučuju se dodatna nastavna rješenja.

(300 stranica, 27 slika, 51 tablica, 162 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Sveučilišnoj knjižnici u Splitu, Ruđera Boškovića 31, Split te u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici, Ul. Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb.

Ključne riječi: metodičko znanje, kovalentno vezivanje, ionsko vezivanje, jezik nastave kemije, Otvoreni intervju

Mentor: prof. dr. sc. Robert Bucat

Ocjenjivači:

1. izv. prof. dr. sc. Nenad Judaš
2. prof. dr. sc. Dean Ajduković
3. prof. dr. sc. Silvija Markić
4. doc. dr. sc. Tonća Jukić
5. doc. dr. sc. Stjepan Orhanović

Rad prihvaćen: 20. rujna 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Split

Doctoral Thesis

Faculty of Science

Doctoral program

Science and Engineering Education Research

PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE ABOUT CHEMICAL BONDING WITH PARTICULAR FOCUS ON LANGUAGE ISSUES IN CROATIA

ROKO VLADUŠIĆ, M.Sc.

Faculty of Science

Ruđera Boškovića 33, 21 000 Split, Croatia

Abstract

Recognising the importance, as well as the problematic understanding of models of covalent and ionic bonding, research into issues and instructional responses was designed and conducted for the purpose of enhancement of pedagogical content knowledge related to chemical bonding. Three objectives were set: (a) To determine the Faculty students' understandings of certain words and symbols used in chemistry instruction and to monitor the pre-service teachers' awareness of attention needed to be given to the language of chemistry instruction; (b) to research the understanding of covalent and ionic bonding models at all levels of the chemistry education system in Croatia and (c) to develop a method for diagnosis of misconceptions related to covalent and ionic bonding, reconstruction of content knowledge and identification of evidence of growth of PCK

amongst pre-service teachers, as well as to research the investigational and instructional potential of this method. With regard to the aims, the research is organized in three parts: in the first, language problems are researched, the second is focused on the understandings of chemical bonding concepts and the third part is dedicated to research into the diagnostic and educational potential of the *Open interview* (OI) method. Various quantitative and qualitative methods and diagnostic instruments were implemented. High school students, Faculty of Science students and high school chemistry teachers were involved in various stages of the research. It was found that many students involved in this research did not demonstrate satisfactory understanding of the meaning of the technical (science) terms, symbolic representations, and everyday words regularly used in teaching and learning about chemical bonding, or chemistry in general. Faculty students' perceptions about high school students' understandings of considered terms are not stable. In the most cases, these perceptions are reflections of their own knowledge. It was found that the EKE (expectation-knowledge-expectation) method could be effective in enhancing students' awareness of the existence of difficulties with understanding of the words and symbols of chemistry instruction. Inadequate knowledge about covalent and ionic bonding is found at all levels of chemistry education in Croatia. There is evidence of a large number of misconceptions. As well as the confirmed potential of OI for acquisition of PCK, this method has been shown to be effective for identification and rectification of pre-service teachers' misunderstandings. However, to achieve long-term effectiveness, additional instructional strategies are recommended.

(300 pages, 27 figures, 51 tables, 162 references, original in Croatian)

Thesis is deposited in the University Library of Split, Ruđera Boškovića 31, Split and National and University Library, Ul. Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb.

Keywords: Pedagogical content knowledge, covalent bonding, ionic bonding, language of chemistry instruction, Open interview.

Supervisor: professor Robert Bucat, Ph.D.

Reviewers:

1. associate professor Nenad Judaš, Ph.D.
2. professor Dean Ajduković, Ph.D.
3. professor Silvija Markić, Ph.D.
4. assistant professor Tonća Jukić, Ph.D.
5. assistant professor Stjepan Orhanović, Ph.D.

Thesis accepted: 20 September 2017

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Najava istraživanja.....	1
1.2. Pregled literature.....	1
1.2.1. Znanje nastavnika.....	1
1.2.1.1. Metodičko znanje.....	3
1.2.1.1.1. Orijentacija prema poučavanju.....	4
1.2.1.1.2. Znanje i uvjerenja o kurikulumu.....	5
1.2.1.1.3. Znanje o učeničkom (studentskom) razumijevanju.....	5
1.2.1.1.4. Znanje o nastavnim strategijama i metodama.....	7
1.2.1.1.5. Znanje o vrednovanju u nastavi.....	9
1.2.1.2. MZ u kemijskom obrazovanju.....	10
1.2.2. Razumijevanje modela kemijskog vezivanja.....	11
1.2.2.1. Pregled literature o pogrešnim poimanjima kemijskog vezivanja.....	12
1.2.2.2. Prepreke razumijevanju modela kemijskog vezivanja.....	14
1.2.3. Jezik nastave kemije.....	17
1.2.3.1. Poteškoće učenika i studenata s jezikom nastave kemije.....	17
1.2.3.2. Jezik u nastavi o kemijskom vezivanju.....	23
1.2.3.3. Jezik i MZ.....	24
1.3. Motivacija za istraživanje.....	24
1.4. Cilj istraživanja i istraživačka pitanja.....	26
2. Metodologija.....	29
2.1. Struktura istraživanja.....	29
2.2. Paradigma i metodologijski pristup.....	30
2.2.1. Metodologijski pristup cjelinama istraživanja.....	31
2.3. Postupci i instrumenti prikupljanja podataka.....	32
2.4. Nacrt istraživanja.....	34
2.5. Analiza podataka.....	35
2.6. Sudionici istraživanja.....	35
2.6.1. Studenti.....	36
2.6.2. Učenici.....	36
2.6.3. Nastavnici.....	36
2.7. Uloge istraživača.....	37
2.8. Etička razmatranja.....	37

3. Rezultati i rasprava	39
3.1. Jezik u učenju i poučavanju kemije	40
3.1.1. Razumijevanje riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije	40
3.1.1.1. Istraživačko pitanje	40
3.1.1.2. Dijagnostički instrument	41
3.1.1.2.1. Prvi blok zadataka UPZ-a	41
3.1.1.2.2. Drugi blok zadataka UPZ-a	42
3.1.1.2.3. Četvrti blok zadataka UPZ-a	43
3.1.1.3. Sudionici istraživanja	43
3.1.1.4. Prikupljanje i analiza podataka	43
3.1.1.5. Ograničenja rezultata	43
3.1.1.6. Rezultati UPZ-a s raspravom	43
3.1.1.6.1. Rezultati prvog bloka zadataka UPZ-a	44
3.1.1.6.1.1. Rezultati A dijela prvog bloka zadataka UPZ-a	44
3.1.1.6.1.2. Rezultati B dijela prvog bloka zadataka	45
3.1.1.6.2. Rezultati drugog bloka zadataka UPZ-a	47
3.1.1.6.3. Rezultati četvrtog bloka zadataka UPZ-a	50
3.1.1.7. Zaključak	54
3.1.1.8. Implikacije za nastavu	55
3.1.2. Predodžbe studenata o učeničkom razumijevanju riječi i simbola	57
3.1.2.1. Istraživačko pitanje	57
3.1.2.2. Dijagnostički instrument	58
3.1.2.3. Sudionici istraživanja	59
3.1.2.4. Prikupljanje i analiza podataka	59
3.1.2.5. Ograničenja rezultata	60
3.1.2.6. Rezultati UOUR-a s raspravom	61
3.1.2.6.1. Rezultati prvog bloka zadataka UOUR-a	61
3.1.2.6.1.1. Rezultati A dijela prvog bloka zadataka UOUR-a	61
3.1.2.6.1.2. Rezultati B dijela prvog bloka zadataka UOUR-a	63
3.1.2.6.1.2. Rezultati drugog bloka zadataka UOUR-a	64
3.1.2.6.2. Rezultati trećeg bloka zadataka UOUR-a	67
3.1.2.6.4. Kriteriji procjena učeničkog poznavanja značenja razmatranih pojmova	70
3.1.2.7. Zaključak	71
3.1.2.8. Implikacije za nastavu	71

3.1.3. Sveza uspješnosti rješavanja problema kemijskog vezivanja i razumijevanja ključnih pojmova uz identifikaciju specifičnih jezičnih poteškoća	71
3.1.3.1. Istraživačka pitanja	72
3.1.3.2. Dijagnostički instrument	72
3.1.3.3. Sudionici istraživanja	72
3.1.3.4. Prikupljanje i analiza podataka	72
3.1.3.5. Ograničenja rezultata	73
3.1.3.6. Rezultati TA-a i TB-a s raspravom	73
3.1.3.6.1. Rezultati TA-a	73
3.1.3.6.2. Rezultati TB-a	75
3.1.3.6.3. Analiza uparenih pitanja iz testova TA i TB	78
3.1.3.7. Zaključak	81
3.1.3.8. Implikacije za nastavu	81
3.1.4. Razumijevanje riječi i simbola te svijest budućih nastavnika kemije o učeničkom znanju – kvalitativna analiza	82
3.1.4.1. Istraživačko pitanje	82
3.1.4.2. Dijagnostički instrument	82
3.1.4.2.1. Prvi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije	82
3.1.4.2.2. Drugi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije	83
3.1.4.2.3. Fokusna grupa o jeziku u učenju i poučavanju kemije	83
3.1.4.3. Sudionici istraživanja	83
3.1.4.4. Prikupljanje i analiza podataka	84
3.1.4.5. Ograničenja rezultata	84
3.1.4.6. Rezultati i rasprava	85
3.1.4.6. Zaključak	98
3.1.4.7. Implikacije za nastavu	99
3.1.5. Završno razmatranje: Jezik u učenju i poučavanju kemije i MZ	99
3.2. Razumijevanje modela kemijskog vezivanja	100
3.2.1. Modeli kemijskog vezivanja	100
3.2.2. Razumijevanje modela kovalentnog vezivanja	101
3.2.2.1. Istraživačko pitanje	101
3.2.2.2. Dijagnostički instrument	102
3.2.2.3. Sudionici istraživanja	104
3.2.2.4. Prikupljanje i analiza podataka	104
3.2.2.5. Ograničenja rezultata	104
3.2.2.6. Rezultati i rasprava	105
3.2.2.6.1. Opis prikaza rezultata	105

3.2.2.6.2. Prikaz i interpretacija rezultata	105
3.2.2.6.2.1. Polarnost veze	105
3.2.2.6.2.2. Polarnost molekule	106
3.2.2.6.2.3. Oblik molekule	107
3.2.2.6.2.4. Struktura tvari	108
3.2.2.6.2.5. Međumolekulske sile	109
3.2.2.6.2.6. Pravilo okteta	110
3.2.2.6.3. Rasprava.....	111
3.2.2.6.4. Zaključak.....	113
3.2.2.6.5. Implikacije za nastavu.....	114
3.2.3. Razumijevanje modela ionskog vezivanja.....	116
3.2.3.1. Značajke modela ionskog vezivanja	116
3.2.3.2. Molekularni i elektrostatski okvir ionskog vezivanja.....	116
3.2.3.3. Istraživačko pitanje	117
3.2.3.4. Dijagnostički instrument.....	117
3.2.3.5. Sudionici i kontekst istraživanja	119
3.2.3.6. Prikupljanje i analiza podataka	119
3.2.3.7. Ograničenja rezultata	120
3.2.3.8. Prikaz i interpretacija rezultata	120
3.2.3.8.1. Koherentnost s elektrostatskim okvirom ionskog vezivanja	120
3.2.3.8.2. Koherentnost s Taberovim molekularnim okvirom ionskog vezivanja.122	
3.2.3.8.2.1. Pretpostavka o povijesti	122
3.2.3.8.2.2. Pretpostavka o valentnosti	123
3.2.3.8.2.3. "Samo sile" pretpostavka	125
3.2.3.8.2.4. Konceptualizacija molekula ionskih tvari.....	125
3.2.3.8.3. Pouzdanost prosudbi	126
3.2.3.9. Rasprava.....	128
3.2.3.9.1. Spekulacije o podrijetlu pogrešnih poimanja.....	131
3.2.3.10. Zaključak.....	135
3.2.3.11. Preporuke za kurikulum, udžbenike i nastavu	135
3.2.4. Završno razmatranje o razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja	137
3.3. Otvoreni intervju	139
3.3.1. Što je Otvoreni intervju?	139

3.3.2. Kako se provodio OI.....	140
3.3.3. Istraživačko pitanje i instrumenti.....	141
3.3.4. Rezultati Otvorenog intervjua s raspravom	142
3.3.4.1. Prikaz i interpretacija rezultata OI-a o ionskom vezivanju.....	143
3.3.4.1.1. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju	143
3.3.4.1.1.1. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu (1.) tvrdnje o "molekulama natrijevog klorida“	144
3.3.4.1.1.2. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu (2.) tvrdnje "o prijenosu elektrona kao razlogu ionskog vezivanja“	152
3.3.4.1.1.3. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu (3.) tvrdnje o povezanosti strukture atoma i "broja ionskih veza“	155
3.3.4.1.1.4. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu (4.) tvrdnje "o pravilu okteta kao pokretačkoj sili ionskog vezivanja“	161
3.3.4.1.1.5. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu tvrdnji kojima se propitivala koherentnost studentskog promišljanja s Taberovim pretpostavkama o valentnosti iona, povijesti iona i "samo silama“	164
3.3.4.1.2. Prikaz i interpretacija kvantitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju	169
3.3.4.1.3. Pregled rezultata OI-a o ionskom vezivanju s raspravom i preporuke za nastavu	171
3.3.4.1.4. Zaključak.....	174
3.3.4.2. Prikaz i interpretacija rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju.....	176
3.3.4.2.1. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju	176
3.3.4.2.1.1. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o pravilu okteta i obliku molekule.....	176
3.3.4.2.1.2. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o strukturi tvari	180
3.3.4.2.1.3. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o obliku molekule	185
3.3.4.2.1.4. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o međumolekulskim silama	187

3.3.4.2.1.5. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o polarnosti veze	192
3.3.4.2.1.6. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o polarnosti molekule	196
3.3.4.2.2. Prikaz i interpretacija kvantitativnih rezultata OI-a o kovalentnoj vezi	199
3.3.5. OI iz perspektive studenata	203
4. ZAVRŠNA RAZMATRANJA	201
4.1 Jezik nastave kemije i MZ	206
4.2. Razumijevanje modela kemijskog vezivanja i MZ.....	208
4.3. OI o kovalentnom i ionskom vezivanju i MZ.....	208
ODGOVORI NA ISTRAŽIVAČKA PITANJA.....	211
Jezik u učenju i poučavanju kemije	217
Razumijevanje modela ionskog i kovalentnog vezivanja.....	220
OI	221
ZAKLJUČAK.....	226
LITERATURA	230
PRILOZI	235
ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH DJELA	294

Popis slika i tablica

Popis slika

Slika 1. Nacrt istraživanja	34
Slika 2. Postotci točnih prosudbi valjanosti svih tvrdnji prema pretpostavkama Taberova molekularnog okvira na koje se tvrdnje odnose	130
Slika 3. Opis nastajanja ionske veze u autoriziranom udžbeniku – jednom od nekoliko sa sličnim prikazima	132
Slika 4. Detalj s provedbe OI-a	141
Slika 5. Shematski prikaz sloja kristala natrijeva klorida	145
Slika 6. Prikazi natrijeva klorida čiju su valjanost studenti procjenjivali u kontekstu prve tvrdnje OI-a	145
Slika 7. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu druge tvrdnje	152
Slika 8. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu treće tvrdnje	156
Slika 9. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu četvrte tvrdnje	161
Slika 10. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu pete tvrdnje	165
Slika 11. Prikazi koje su studenti analizirali u kontekstu drugog zadatka OI-a o kovalentnom vezivanju	181
Slika 12. Prikazi koje su studenti analizirali u kontekstu četvrtog zadatka OI-a o kovalentnoj vezi	188
Slika 13. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti analizirali u kontekstu poučavanja o polarosti veze	193
Slika 14. Prikazi koje su studenti analizirali s obzirom na polarost molekula i metodičku valjanost	197
Slika 15. Prikaz kovalentne veze <i>koja još nije uspostavljena</i>	287
Slika 16. Prikaz homonuklearne, a ne heteronuklearne molekule (1)	287
Slika 17. Prikaz homonuklearne, a ne heteronuklearne molekule (2)	287
Slika 18. Standardiziranim oznakama prikazana kovalentna veza odnosno građa molekule	288
Slika 19. Korektan prikaz kovalentne veze u molekuli bromovodika, ali s uporabom standardiziranih oznaka orbitala	288
Slika 20. Primjer pogrešnog poimanja – prikaz kovalentne veze kao veze između natrijeva i kloridnog iona iz para natrijeva klorida	288
Slika 21. Primjer pogrešnog poimanja – oko jezgre postoji prazan prostor, a izvan njega su elektroni	289
Slika 22. Antropomorfizirani prikaz dvostruke veze u molekuli ugljikova monoksida	289
Slika 23. Antropomorfizirani prikaz kovalentne veze između dvaju različitih entiteta	289
Slika 24. Antropomorfizirani prikaz kovalentne veze u molekuli klorovodika	290

Slika 25. Ispravan prikaz dvoatomne molekule s polarnom kovalentnom vezom	291
Slika 26. Korektan prikaz kovalentne veze kao usmjerene interakcije između atoma vodika i klora u molekuli klorovodika	291
Slika 27. Detaljni prikaz kovalentnih interakcija u molekuli diborana, B ₂ H ₆	292

Popis tablica

Tablica 1. Struktura istraživanja	29
Tablica 2. Značajke istraživanja	29
Tablica 3. Povezanost istraživačkih pitanja s postupcima i instrumentima prikupljanja podataka	33
Tablica 4. Uspješnost kreiranja znanstveno smislenih rečenica sa zadanim pojmovima	44
Tablica 5. Postotci studenata s točnim, djelomično točnim i netočnim objašnjenjima ključnih pojmova iz zadanih rečenica	45
Tablica 6. Broj i postotak studenata koji su prepoznali valjano značenje ključnih riječi u zadacima višestrukog izbora.....	47
Tablica 7. Postotci točnih odgovora preddiplomaca i diplomaca na 7. zadatak kojim se ispitivalo razumijevanje riječi simultano	48
Tablica 8. Postotci odgovora preddiplomaca i diplomaca na 4. zadatak kojim se ispitivalo razumijevanje riječi neutralizirati	49
Tablica 9. Postotci odgovora preddiplomaca i diplomaca po tvrdnjama 3. zadatka kojim se ispitivalo razumijevanje riječi karbonizacija	50
Tablica 10. Postotak preddiplomaca i diplomaca koji su pokazali razumijevanje pojmova iskazanih riječima	50
Tablica 11. Postotak preddiplomaca i diplomaca koji su pokazali razumijevanje simboličkih pojmova i vrijednosti njihova samopouzdanja u točnost odgovora	52
Tablica 12. Prikaz broja sudionika ovog dijela istraživanja po razinama, smjerovima i godinama studija	59
Tablica 13. Procjene studenata preddiplomskih studija i diplomskog studija o učeničkom razumijevanju pojmova <i>koeficijent</i> , <i>množina</i> , <i>analiza</i> , <i>težište</i> i <i>konformacija</i> , iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u	61
Tablica 14. Procjene studenata prve godine diplomskog studija o učeničkom razumijevanju pojmova <i>koeficijent</i> , <i>množina</i> , <i>analiza</i> , <i>težište</i> i <i>konformacija</i> , iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u ..	62
Tablica 15. Procjene studenata preddiplomskih studija i diplomskog studija o učeničkom poznavanju značenja pojmova <i>sila</i> , <i>formula</i> , <i>relativan</i> , <i>kristal</i> i <i>polumjer</i> u zadanom kontekstu	63
Tablica 16. Procjene studenata preddiplomskih studija o učeničkom razumijevanju 20 svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom i drugom UOUR-u	65

Tablica 17. Procjene studenata diplomskog studija o učeničkom razumijevanju 20 svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u	66
Tablica 18. Procjene studenata preddiplomskih studija o učeničkom razumijevanju 20 riječi, simbola i izraza koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom i drugom UOUR-u	68
Tablica 19. Procjene studenata diplomskog studija o učeničkom razumijevanju 20 riječi, simbola i izraza koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u	69
Tablica 20. Studentski kriteriji za procjenu učeničkog razumijevanja zadanih riječi i simbola, iskazani prvim, drugim i trećim UOUR-om	70
Tablica 21. Uspješnost studentskog definiranja pojmova elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, elektronski afinitet, ionski karakter veze i duljina veze	74
Tablica 22. Uspješnost rješavanja zadataka koji su vezani uz pojmove elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, elektronski afinitet, ionski karakter veze i duljina veze	75
Tablica 23. Postotci točnih i (u zagradama) djelomično točnih odgovora na pitanja iz TA-a i TB-a, uparenih prema kriteriju pojma na koji se odnose, te rezultati hi-kvadrat testa i koeficijenti kontigencije	78
Tablica 24. Grupiranje jedinica analize (iskazanih pitanjima) po područjima (kategorijama)	85
Tablica 25. Postotci sudionika koji su uspješno riješili 1., 3. i 14. zadatak, kojima se ispitivalo razumijevanje koncepta <i>Polarnost veze</i>	106
Tablica 26. Postotci sudionika koji su uspješno riješili 6., 9. i 12. zadatak, kojima se ispitivalo razumijevanje koncepta <i>Polarnost molekule</i>	106
Tablica 27. Postotci sudionika koji su uspješno riješili 2., 5., 8., 13. i 15. zadatak, kojima se ispitivalo razumijevanje koncepta <i>Oblik molekule</i>	107
Tablica 28. Postotci nastavnika, studenata i učenika koji su uspješno riješili 4. i 11. zadatak, kojima se ispitivalo razumijevanje povezanosti strukture i svojstava tvari	109
Tablica 29. Postotci nastavnika, studenata i učenika koji su uspješno riješili 7. i 12. zadatak kojima se ispitivalo razumijevanje koncepta <i>Međumolekulske sile</i>	110
Tablica 30. Postotci nastavnika, studenata i učenika koji su uspješno riješili 10. i 15. zadatak kojima se ispitivalo razumijevanje odnosno primjena pravila okteta	110
Tablica 31. Pokazatelji zadovoljavajućeg konceptualnog razumijevanja koncepata u području kovalentne veze i struktura, u skupinama nastavnika, studenata i učenika	112
Tablica 32. Najzastupljenija pogrešna poimanja o kovalentnim vezama i strukturama	114
Tablica 33. Molekularni i elektrostatski okvir promišljanja o ionskom vezivanju	117
Tablica 34. Postotci sudionika koji su ispravno procijenili valjanost tvrdnji koje se odnose na elektrostatsku konceptualizaciju ionskog vezivanja.	121
Tablica 35. Postotci ispitanika s točnim procjenama ispravnosti tvrdnji koje se odnose na pretpostavku molekularnog okvira ionskog vezivanja <i>o povijesti</i>	123

Tablica 36. Postotci ispitanika s točnim prosudbama tvrdnji koje se odnose na <i>pretpostavku o valentnosti</i>	124
Tablica 37. Postotci ispitanika s točnim procjenama ispravnosti tvrdnji koje se odnose na pretpostavku molekularnog okvira ionskog vezivanja o <i>tek silama</i>	125
Tablica 38. Postotci ispitanika s točnim procjenama ispravnosti tvrdnji koje se odnose na koncepciju molekula u ionskim tvarima	126
Tablica 39. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 7 i 15	127
Tablica 40. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 2 i 11	127
Tablica 41. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 14 i 17	127
Tablica 42. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 5 i 16	127
Tablica 43. Istraživačka pitanja, potpitanja i instrumenti prikupljanja podataka u OI-u	142
Tablica 44. Pretpostavke Molekularnog okvira ionskog vezivanja i tvrdnje iz +TTAIB-a upotrijebljene u OI-u o ionskom vezivanju	144
Tablica 45. Rezultati studentskih procjena ispravnosti sedam tvrdnji upotrijebljenih u OI-u o ionskom vezivanju	170
Tablica 46. Rezultati studentskih odgovora na šest zadataka upotrijebljenih u OI-u o kovalentnom vezivanju	200
Tablica 48. Broj i postotak budućih nastavnika kemije koji su točno prosudili ispravnost tvrdnji +TTAIB-a tijekom prvog testiranja (+TTAIB 1), odmah nakon OI-a (OI) i tijekom drugog testiranja (+TTAIB 2)	211
Tablica 49. Broj i postotak budućih nastavnika kemije koji su točno riješili dvoslojne zadatke iz +KViS-a tijekom prvog testiranja (+KViS 1), odmah nakon OI-a (OI) i tijekom drugog testiranja (+KViS 2)	213

UVOD

1. UVOD

1.1. Najava istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi poteškoće u shvaćanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja u RH te osmisliti i ispitati učinke nastavnog pristupa koji omogućuje njihovo prepoznavanje i restrukturiranje znanja.

S obzirom na to da su nedovoljne jezične kompetencije prepreka razumijevanju kemijskog sadržaja, ispitat će se poznavanje značenja određenih tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih pojmova te simbola. Također, istražiti će se razumijevanje modela kovalentnog i ionskog vezivanja na srednjoškolskoj i visokoškolskoj razini te u populaciji srednjoškolskih nastavnika kemije. Temeljem uočene potrebe za unaprjeđenjem nastave o kemijskom vezivanju, razvit će se nastavna metoda i ispitati njezini potencijali.

Navedena istraživačka područja povezuje koncept *Metodičko znanje kemije*. Stoga će metodičko znanje prvo biti opisano, a potom će se s problemima shvaćanja modela kemijskog vezivanja i poteškoćama s jezikom nastave kemije, zaključiti pregled istraženosti svakog od ta tri područja.

1.2. Pregled literature

1.2.1. Znanje nastavnika

U programima i kolegijima nastavničkih studija, kao i na intervjuima nastavnika pred zaposlenje, naglasak se najčešće stavlja na opće teorije i metode poučavanja. Shulman (1986) se, uočivši slične trendove i u znanstvenoj literaturi, zapitao: *Kamo je nestao sadržaj* (nastavnog predmeta, op.a.)? Temeljni preduvjet poučavanja određenog nastavnog sadržaja jest njegovo poznavanje. Uz to, kompetentan nastavnik mora znati kako će taj sadržaj preoblikovati u skup povezanih činjenica i postupaka koji će rezultirati razumijevanjem i na koji će se način konkretne formulacije sadržaja reflektirati na ono što će učenici i studenti razumjeti ili pogrešno protumačiti. Prije detaljnog ispitivanja složenih elemenata nastavnikova razumijevanja i znanja o poučavanju predmetnog sadržaja, a koje se odnosi na količinu i organizaciju znanja o sadržaju u svijesti svakog od njih, trebalo je postaviti koherentni teorijski okvir. Shulman (1986) je predložio razlikovanje triju kategorija znanja koje nastavnik treba imati da bi kvalitetno poučavao: (a) znanje predmetnog sadržaja, (b) metodičko znanje¹ (engl.

¹ U hrvatskom jeziku ne postoji termin istoznačan engleskom terminu *Pedagogical content knowledge*. Stoga je skovan i u ovoj disertaciji upotrijebljen termin – Metodičko znanje. Uporište se nalazi u specifičnosti hrvatskog

Pedagogical Content Knowledge, PCK) i (c) znanje o kurikulu. Opisao ih je na sljedeći način (Shulman, 1986):

- a) *U različitim predmetnim područjima načini razmatranja sadržaja značajno se razlikuju. Valjano znanje predmetnog sadržaja nadilazi znanje o činjenicama ili pojedinačnim konceptima. Ono podrazumijeva razumijevanje strukture sadržaja, odnosno povezanost i međusobnu ovisnost svih njegovih elemenata.*

Ovome treba dodati da se različitim načinima može prikazati odnosno kategorizirati znanje predmetnog sadržaja (primjerice, uz pomoć Bloomove taksonomije znanja).

- b) *Sljedeća kategorija znanja nastavnika, metodičko znanje (MZ), nadilazi znanje predmetnog sadržaja (ZPS) "per se", predstavljajući novu dimenziju znanja – znanje o poučavanju predmetnog sadržaja. To je poseban oblik znanja koji objedinjuje elemente sadržaja najprikladnije za njegovo poučavanje.*

Kvalitetna je nastava u velikoj mjeri ovisna o značajkama sadržaja. Na općoj razini, ciljevi, načini i vještine poučavanja književnosti drugačiji su od onih koji se zahtijevaju u nastavi prirodoslovnih predmeta. Specifičnije, uzimajući samo kemiju u obzir, zahtjevi za kvalitetnim poučavanjem o kemijskom vezivanju razlikuju se od zahtjeva za kvalitetnim poučavanjem stehiometrije. Još specifičnije, unutar teme o kemijskom vezivanju, sadržaj poučavanja o prirodi kovalentnih veza treba organizirati na drugačije načine u odnosu na sadržaj koji se odnosi na izomeriju u molekularnim tvarima. Dakle, MZ je znanje o kvalitetnom (efektivnom) poučavanju konkretnih tema, koncepata, problema i ideja.

- c) *Treća kategorija znanja nastavnika je znanje o kurikulu. Kurikul uključuje niz programa oblikovanih za poučavanje predmeta i tema na određenoj razini, raznovrsne nastavne materijale usklađene s tim programima te skup značajki koje služe kao pokazatelji opravdanosti i uspješnosti uporabe odgovarajućih sredstava u specifičnim okolnostima, a odnose se na razmatranje ishoda, konteksta i razloga poučavanja.*

obrazovnog i znanstvenog sustava u kojemu Metodika nastave, primjerice, kemije, predstavlja nastavni predmet i znanstvenu disciplinu interdisciplinarnog karaktera u kojima se znanja kemije transliraju u znanja kemije za poučavanje i učenje. S obzirom na to da je svaka metodika nastave nekog predmeta utemeljena na svom predmetu, metodičko se znanje uvijek odnosi na konkretni sadržaj predmeta. Drugim riječima, ne postoji opće metodičko znanje, već metodičko znanje kemije, metodičko znanje fizike ili, još preciznije (i poželjnije), metodičko znanje o kemijskoj ravnoteži, metodičko znanje o stehiometriji i sl.

1.2.1.1. Metodičko znanje

Između kategorija znanja nastavnika, MZ je od posebnog interesa (Shulman, 1987). Od kada je Shulman uveo MZ, koncept je privukao veliku pozornost nastavnika i istraživača pa je njegov razvoj intenzivno nastavljen. Geddis i sur. (1993) su definirali MZ kao *transformaciju znanja sadržaja predmeta u oblike prilagođene za poučavanje učenika*. Zaključili su da stjecanje MZ-a nastavnicima početnicima omogućuje pomak od zaokupljenosti tehničkim kompetencijama prema izgradnji kritičkih stavova o transformaciji sadržaja predmeta u sadržaj predmeta za poučavanje.

Mnogi su znanstvenici istraživali MZ, ali rijetki u kontekstu predmetnog sadržaja. Većina MZ upotrebljava kao opći pojam koji pokriva veći broj koncepata. Drugi uopće ne spominju MZ, bilo iz razloga što su njihovi radovi prethodili Shulmanovim radovima iz sredine osamdesetih godina prošlog stoljeća, ili su se u interpretaciji rezultata pozivali na drugačije konceptualizacije znanja. Nekoliko je istraživača, koristeći okvir MZ-a, u literaturu uvelo nove termine, poput *activities that works*, kojeg su prema Appletonu (2002) rabili osnovnoškolski nastavnici, *pedagogical content concerns* (de Jong, 2000) ili *pedagogical context knowledge* (Barnett i Hodson, 2001) kao kodni naziv za znanje nastavnika (akademsko i istraživačko znanje, MZ, profesionalno znanje i znanje o upravljanju razredom) koji u školi organizira nastavu iz predmeta prirodnih znanosti.

Iako su istraživači opisivali više ili manje slične konceptualizacije, konsenzus oko definicije i strukture koncepta MZ-a nije postignut. Zbog toga se u literaturi mogu pronaći različiti modeli MZ-a. Pregledno su ih prikazali Gess-Newsome (1999), Abell (2007) i Kind (2009).

Između različitih konceptualizacija MZ-a (Smith i Neale, 1989; Cohran i sur., 1993; Morine-Dersheimer i Kent, 1999; Magnusson i sur., 1999, Veal i MaKinister, 1999, Koballa i sur., 1999) trebalo je odabrati onu kojom se jednoznačno opisuje znanje nastavnika i koja omogućuje jednostavnu kategorizaciju praktičnih rezultata. Na temelju tih kriterija, kao podloga ovog istraživanja odabran je rad Magnussona i sur. (1999). Oni su MZ konceptualizirali temeljem Grossmanovog (1990) okvira o znanju nastavnika (koje uključuje znanje predmetnog sadržaja, pedagoško znanje i znanje o kontekstu). Koncept MZ-a Magnussona i sur. (1999) čini pet domena. To su:

- 1) Orijentacija prema poučavanju prirodoslovlja (znanje o specifičnostima tog područja i uvjerenje o tome kako je prirodoslovlje, odnosno prirodoslovne predmete, najbolje poučavati),

- 2) Znanje i uvjerenja o kurikulumu prirodoslovlja (što i kada poučavati),
- 3) Znanje o učeničkom (studentskom) razumijevanju prirodoslovlja,
- 4) Znanje o nastavnim strategijama i metodama u nastavi prirodoslovlja,
- 5) Znanje o vrednovanju u nastavi prirodoslovlja (što, zašto i kako vrednovati).

U nastavku slijedi detaljniji opis svake navedene domene MZ-a.

1.2.1.1.1. Orijentacija prema poučavanju

Ova komponenta ima središnju ulogu u konceptu MZ-a. Odnosi se na nastavnikova znanja i uvjerenja o svrsi i ciljevima poučavanja na određenoj razini. Orijentacija prema poučavanju prirodoslovlja može se opisati kao pristup poučavanju, specifičan za svakog nastavnika. Anderson i Smith (1987) su uveli termin *orijentacija* kako bi jednom riječju opisali različite pristupe u poučavanju prirodoslovlja (*didaktički pristup, učenje vođeno aktivnostima, učenje otkrivanjem i konceptualne promjene*).

U malom je broju studija istražena veza između nastavničkih uvjerenja o tome kako treba poučavati i znanja o poučavanju, odnosno njegovoj primjeni u nastavnoj praksi. U jednoj od njih, istražen je dinamički odnos između orijentacije prema poučavanju i nastavne prakse koji je karakterizirao rad dviju australskih učiteljica, Patty i Tine (Zipf i Harrison, 2003). Patty je imala mnogo više nastavnog iskustva od Tine, koja je kao nastavnik radila tek jednu godinu. Patty je iskazivala konzervativna uvjerenja – nastavu je temeljila na radu s udžbenikom i provedbi radnih listova. Tina je udžbenik koristila tek kao pomoćno sredstvo za objašnjavanje koncepata koje su učenici primarno razmatrali kroz istraživački rad i slične nastavne pristupe. Njihove su se orijentacije prema vrednovanju također razlikovale. Patty je preferirala provedbu pisanih zadataka nakon poučavanja, dok je Tina tijekom poučavanja provodila formativnu procjenu znanja, uglavnom koristeći otvorena pitanja. Dakle, u određenoj fazi njihovih profesionalnih karijera, Patty i Tina su zbog specifičnih orijentacija prema poučavanju potpuno drugačije organizirale nastavnu praksu.

Nargund-Joshi i Liu (2013) su zaključili da orijentacije prema poučavanju prirodoslovlja djeluju kao filteri ili pojačala u oblikovanju općeg ponašanja nastavnika u razredu. Analiza nastavnikove orijentacije prema poučavanju, prvi je korak prema promjeni njegova nastavnog pristupa i djelovanja.

Iako se mnogim studijama istraživala ova domena MZ-a, koncept je još uvijek nejasan. Mnogo je rada još potrebno obaviti da bi se razumjele orijentacije prema poučavanju, kojima se nastavnici prirodoslovnih predmeta vode pri planiranju i provedbi nastave (Abell, 2007).

1.2.1.1.2. Znanje i uvjerenja o kurikulumu

Ova se domena MZ-a može podijeliti u dvije kategorije (Magnusson i sur., 1999): (a) znanje o službenim ciljevima (npr. nacionalnim standardima) i (b) znanje o specifičnim nastavnim programima i materijalima. Shulman (1987) je znanje o kurikulumu, zajedno s materijalima i programima koji nastavnicima služe kao *alati za rad*, smatrao zasebnom kategorijom znanja nastavnika. Magnusson i sur. (1999) znanje i uvjerenja o kurikulumu smatraju dijelom MZ-a. Prema njima, znanje o nastavnim materijalima upravo je ono što razlikuje kvalitetnog nastavnika od pedagoga. Peterson i Treagust (1995) su utvrdili da je znanje o kurikulumu ključna komponenta pedagoškog prosuđivanja budućih nastavnika kemije² tijekom pripreme i provedbe nastave.

1.2.1.1.3. Znanje o učeničkom (studentskom) razumijevanju

Ova se komponenta MZ-a odnosi na znanje nastavnika o znanju svojih učenika ili studenata. To uključuje znanje o preduvjetima za efikasno učenje konkretnih koncepata, (pre)poznavanje učenika i studentima zahtjevnih područja, učinkovite pristupe učenju i poučavanju prirodoslovnih predmeta, pogrešne konceptualizacije (Magnusson i sur., 1999) te procjene što učenici i studenti znaju. Istraživanja u ovom području uglavnom su usmjerena na nastavnikovo znanje o pogrešnim poimanjima, nastavničkim predodžbama idealnog učenika ili studenta u pojedinim prirodoslovnim disciplinama te na uopćeni pogled nastavnika na učenje i poučavanje prirodoslovlja. U pojedinim se studijama ova kategorija znanja vrlo detaljno proučavala, bez obzira je li to bio primarni cilj. Jedan od primjera je istraživanje de Jonga i sur. (2005) o razumijevanju odnosa između korpuskularnih entiteta i makroskopskih pojava, kojim su utvrđene poteškoće budućih nastavnika kemije s uporabom čestičnih modela.

Znanje o preduvjetima za učenje, kao poddomena *Znanja o učeničkom (studentskom) razumijevanju* uključuje nastavnikovo znanje o potrebnom predznanju i vještinama koje učenici i studenti moraju imati kako bi uspješno obradili određenu nastavnu temu. Također, ono uključuje nastavnikovo znanje o različitim pristupima, ovisno o razvojnoj razini i stilovima učenja, koje će učenici i studenti upotrijebiti kako bi izgradili odgovarajuće znanje.

Poddomena *Znanje o učenicima i studentima zahtjevnim područjima* odnosi se na znanje nastavnika o segmentima sadržaja kojeg je, u pravilu, teško naučiti. Primjerice, Garritz i sur.

² Budući nastavnici kemije su studenti koji će završetkom obrazovanja steći kompetencije nastavnika kemije. U RH, budući nastavnici kemije su studenti odgovarajućih diplomskih studija nastavničkog smjera ili, rjeđe, integriranog nastavničkog studija.

(2012) su evidentirali poteškoće s razumijevanjem koncepta kemijske ravnoteže. Većina tih problema uzrokovana je nedostatnim predznanjem ili pogrešnim operiranjem s prethodno stečenim znanjem. Bark i sur. (2009) su analizirali studije u tom području i izvijestili o uvriježenim pogrešnim poimanjima, poput sljedećih: *Ne može se mijenjati količina čvrste tvari u ravnotežnoj smjesi; Kada se uspostavi ravnoteža, koncentracija svih kemijskih vrsta u reakcijskoj smjesi je jednaka; Velika vrijednost konstante ravnoteže podrazumijeva vrlo brzu reakciju; Povišenje temperature neke egzotermne reakcije, smanjit će brzinu povratne reakcije; Dodatak katalizatora može različito utjecati na brzinu napredne i povratne reakcije...*

Istraživanjima kojima je ispitivano nastavnikovo znanje o učeničkim poteškoćama, otkriveno je da nastavnicima, čak i kada su svjesni učeničkih problema, nedostaje znanje kojim bi im mogli pomoći da nadvladaju probleme koje imaju. Dodatni se problem odnosi se na činjenicu da pojedini nastavnici, poput svojih učenika ili studenata, mogu imati ista pogrešna poimanja.

Nekoliko je istraživanja provedeno s ciljem utvrđivanja nastavnikova znanja o učeničkim konceptualizacijama u kontekstu poučavanja. De Jong i van Driel (2004) izvijestili su o razvoju MZ-a budućih nastavnika kemije uslijed porasta znanja o poteškoćama poučavanja i učenja kemijskih sadržaja na makroskopskoj, submikroskopskoj i simboličkoj razini³. Uočili su da se mogućnost učenja kroz poučavanje, ponuđena studentima u početnoj fazi programa, čini učinkovitim načinom podizanja svijesti budućih nastavnika kemije o specifičnim poteškoćama poučavanja i poteškoćama učeničkog razumijevanja.

Pinnegar (1989) je utvrdila da znanje o učeničkom razumijevanju nastavnika uglavnom stječe opažanjima i interakcijom tijekom nastavnog procesa. Zbog toga ono raste s vremenom. Isto je potvrđeno i drugim studijama. Primjerice, Geddis i sur. (1993) evidentirali su probleme dvaju budućih nastavnika kemije, u kontekstu poučavanja o izotopima. Budući nastavnici nisu očekivali poteškoće učenika s izračunavanjem prosječne relativne atomske mase elemenata s većim brojem izotopa, računajući na učeničke kompetencije izračunavanja jednostavnih prosječnih vrijednosti. Za razliku od njih, iskusni je nastavnik predvidio te poteškoće i planirao nastavna rješenja. Slično tome, Akerson i sur. (2000) uočili su značajne razlike između

³ Značajan dio literature o kemijskom obrazovanju oslanja se na model prema kojem postoje *tri razine* na kojima se zbiva učenje i poučavanje kemije. Taj se model uobičajeno grafički prikazuje kao trokut čiji vrhovi predstavljaju makroskopsku, submikroskopsku i simboličku razinu. Predložio ga je Johnston (1982) kao odgovor na potrebe kemijskog obrazovanja za implementiranjem ideja o spoznavanju i procesuiranju informacija u učenju, koje su proizašle iz psihologijskih istraživanja (Taber, 2013). Nekoliko se termina u engleskom jeziku koristi za označavanje tog modela (primjerice, *multiple representation levels, multiple meanings, chemical triplet...*). U literaturi na hrvatskom jeziku pronađena su dva termina: *tri svijeta u kemiji* i *razine prezentiranja kemijskih nastavnih sadržaja*. Radi jednostavnijeg izražavanja, u ovom radu koristit će se i na daljnje razmatranje ponuditi novi termin kojim se imenuje Johnstonov model – *kemijski triplet*.

nastavnih ideja dvaju nastavnika bogatog iskustva i budućeg nastavnika kemije. Iskusni su nastavnici učeničke ideje vidjeli kao specifično strukturirane, koherentne konceptualizacije, utemeljene na iskustvu i otporne na promjene. Stoga su učenike stalno pokušavali pobuditi da komuniciraju o svojim idejama. Budući je nastavnik kemije, s druge strane, obeshrabrivao učenike u iskazivanju predodžbi o razmatranim znanstvenim problemima, usredotočujući se na provedbu *redovne* nastave. Jedan od zaključaka te studije bio je da iskusni nastavnik s kvalitetnijim znanjem sadržaja ima najveći repertoar pobuđivanja i adresiranja učeničkih ideja. De Jong i sur. (1999) utvrdili su nedostatak znanja budućih nastavnika o učeničkim poteškoćama. Posebno važan zadatak nastavnika prirodoslovlja je, zaključili su, pažljivo analizirati učeničke (pred)konceptualizacije i poteškoće razumijevanja te raspravljati o značenju pojedinih koncepata.

Pregledana istraživanja nastavnikova znanja o učeničkom i studentskom razumijevanju i učenju prirodoslovlja karakterizira primjena različitih metoda i nedostatak kohezije u adresiranosti istraživačkih pitanja. Ipak, razmatranjem rezultata može se zaključiti da nastavnicima nedostaje znanje o učeničkim i studentskim predodžbama znanstvenih ideja i koncepata, ali i da se ovo znanje povećava s porastom nastavnog iskustva (Abell, 2007).

1.2.1.1.4. Znanje o nastavnim strategijama i metodama

Hilton i Nichols (2011) objavili su rezultate koji naznačuju da je nastavnikov pristup odabiru izvora znanja i pristupa i pomoći u operiranju na različitim razinama kemijskog tripleta ključan čimbenik razvoja učeničkih makro-submikro-simboličkih kompetencija (engl. *representational competences*) i razumijevanja složenih znanstvenih koncepata. U nastavi kemije, tijekom opisivanja i objašnjavanja kemijskih fenomena, poseban je naglasak potrebno pridati pravilnom prikazivanju sadržaja na različitim razinama (Chandrasegaran i sur., 2007). Pravilna uporaba kemijskog tripleta podrazumijeva posebnu vrstu znanja o pojedinim izvorima znanja, nastavnim strategijama i podršci učenicima. Uzevši zajedno to je *Znanje o nastavnim strategijama i metodama u nastavi kemije*. Ova komponenta MZ-a uključuje (a) *Znanje o strategijama specifičnima za određeni nastavni predmet* (primjerice, demonstracijski ili laboratorijski pristup kemijskom eksperimentu) i (b) *Znanje o strategijama i metodama specifičnima za nastavnu temu*, što se odnosi i na valjanu uporabu izvora znanja (specifičnih analogija, primjera, modela...), demonstracija i aktivnosti (konkretni eksperimenti, problemi i slučajevi) (Magnusson i sur., 1999). Slijedi sažeti opis ovih potkategorija.

- (a) *Znanje o strategijama specifičnima za nastavni predmet* uključuje poznavanje strategija za poučavanje prirodoslovnih predmeta, a koje se, u pravilu, razlikuju od strategija za poučavanje drugih predmeta. Magnusson i sur. (1999) smatraju da uporaba strategija ovisi o uvjerenju nastavnika o njegovoj ulozi u stjecanju odnosno izgradnji znanja učenika. Razina uvjerenosti u učinkovitost određenog pristupa, značajno utječe na odluku nastavnika hoće li prihvatiti i primijeniti određenu strategiju. Primjerice, nastavnik koji ne vjeruje u efikasnost laboratorijskog (učeničkog) eksperimenta, nastojat će ga izbjeći, unatoč nepobitnim edukacijskim koristima takvog rada.
- (b) *Znanje o strategijama i metodama specifičnima za nastavnu temu* može se podijeliti u dvije kategorije (i) *Znanje o uporabi tematski specifičnih izvora znanja* te (ii) *Znanje o tematski specifičnim aktivnostima*.
- (i) *Znanje o uporabi tematski specifičnih izvora znanja* podrazumijeva sposobnost valjane primjene konkretnih ilustracija, modela, primjera i analogija kojima se prikazuje određeni nastavni sadržaj, odnosno znanje o njihovim prednostima i nedostacima. Iako su analogije u prirodoslovnom obrazovanju dobrodošle, različiti su zaključci o njihovoj korisnosti izvedeni u različitim studijama. Treagust i sur. (1992) su temeljem istraživačkih rezultata prosudili da uporaba analogija u nastavi predmeta prirodnih znanosti može biti učinkovita samo ako je utemeljena na pažljivo pripremljenom repertoaru analogija, između kojih se pomno odabiru one koje specifično odgovaraju pojedinim nastavnim situacijama. Van Driel, Verloop i de Vos (1998) predlažu širu raspravu o uporabi analogija i metafora tijekom poučavanja i učenja o dinamičkoj ravnoteži. Za razliku od Treagusta i sur. (1992), oni su suzdržani u preporuci uporabe analogija u cilju iniciranja konceptualnih promjena.
- (ii) *Znanje o tematski specifičnim aktivnostima* uključuje nastavnikovo znanje o konkretnim problemima, simulacijama, demonstracijama, istraživanjima i eksperimentima, kao i znanje kako te aktivnosti mogu utjecati na razumijevanje određenih tema nastavnog sadržaja. Istraživački podatci pokazuju da nastavnici s većim iskustvom, općenito gledajući, imaju bogatije znanje ovog tipa od početnika. S druge strane, iskustvo nastavnika nije garancija znanja o tematski specifičnim aktivnostima. Tome u prilog idu rezultati de Jonga i sur. (1995) koji su promatrali dva iskusna nastavnika kemije tijekom poučavanja o oksidacijsko-redukcijskim procesima. Zaključili su da, iako iskusni, nastavnici imaju mnogo problema u razvoju djelotvornih nastavnih strategija. Primjerice,

nastavnici su pridavali preveliku važnost uporabi (algoritamskih) postupaka, na što se nailazi i u udžbenicima, i to posebice onih koji se odnose na izjednačavanje složenijih oksidacijsko-redukcijskih polureakcija.

1.2.1.1.5. Znanje o vrednovanju u nastavi

Ovo znanje uključuje dvije potkategorije: (a) *Znanje o područjima vrijednim vrednovanja*, koje se odnosi na znanje nastavnika o segmentima znanja, sposobnostima i vještinama vezanim uz određeno područje nastavnog sadržaja koje je najvažnije vrednovati, i (b) *Znanje o metodama vrednovanja*, koje će detaljnije biti opisano u nastavku. Ovaj drugi tip znanja o vrednovanju, odnosi se na poznavanje načina kojima nastavnik može procjenjivati određene aspekte učenikova znanja o temi sadržaja. Dostupne studije uglavnom se bave općim značajkama metoda vrednovanja. Znanje o metodama vrednovanja s nastavnom praksom povezoao je Kamen (1996) u studiji slučaja kojom je pratio rad nastavnika prirodoslovlja. Utvrdio je da se s vremenom nastavnikova percepcija vrednovanja pomakla prema integriranom modelu u kojemu se poučavanje i vrednovanje izmjenjuju simultano. Neki od istraživača raspravljali su o tipovima testova ili pitanja, a drugi su se bavili tradicionalnim ili alternativnim vrednovanjem. Kao primjer specifičnog pristupa vrednovanju, može se navesti Zollerov (2001) pristup *multikomponentne evaluacije kognitivnih vještina višeg reda* u području izvora energije. Zoller (2001) je primijetio, između ostalog, da se rješavanje problema, kritičko mišljenje, sustavno promišljanje i donošenje odluka uobičajeno ne vrednuje u većini kemijskih kolegija.

U pregledanoj literaturi pronađeni su pokazatelji koji svjedoče o nedovoljnom znanju budućih nastavnika kemije o metodama vrednovanja. Tako, primjerice, de Jong i sur. (1999) zaključuju da budući nastavnici kemije imaju nejasne ideje o metodama i instrumentima provjere učenikova znanja i sposobnosti. Rezultati studije kojom se istraživalo MZ budućih nastavnika kemije o prirodi znanosti, u okviru sadržaja o čestičnoj prirodi tvari (Bektas i sur., 2013), pokazuju da, dok je većina budućih nastavnika kemije tijekom studija pokazivala napredak u razumijevanju ključnih aspekata prirode znanosti, znanja o učenicima i nastavnim strategijama, većina nije napredovala u pogledu znanja o vrednovanju.

Nakon što je opisan teorijski okvir MZ-a, može se zaključiti da je MZ više od zbroya svojih konstitutivnih dijelova (Abell, 2008; Magnusson i sur., 1999). Nije dovoljno reći da nastavnici posjeduju MZ – svi oni koriste sve komponente MZ-a, ali svatko na specifičan, integrirajući način, kao što svatko na svoj način planira i provodi nastavu.

MZ budućih nastavnika kemije istraživano je iz različitih perspektiva. U pojedinim se slučajevima buduće nastavnike poučavalo o konceptu MZ-a da bi se potom istražilo kako primjena specifičnih metodoloških alata (primjerice, *CoRe-a* i *PaP-eR-a*) oblikuje njihovo mišljenje o vlastitom poučavanju i profesionalnom razvoju (Loughran i sur., 2008). U drugima se porast MZ-a budućih nastavnika pratio kao funkcija nastavnog iskustva i njegove refleksije (Nilsson, 2008) odnosno kao *učenje poučavanjem* (a ne kao *učenje poučavanja*) (de Jong i van Driel, 2004, de Jong i sur., 2005). Unatoč raznovrsnim istraživanjima MZ-a budućih nastavnika kemije, malo je informacija o tome koje komponente MZ-a oni dominantno upotrebljavaju.

Kind (2013) je izvijestila o rezultatima studije o specifičnim događajima u nastavi kemije, fizike i biologije, prema kojima su se razmatranja uključenih budućih nastavnika odnosila na samo tri komponente MZ-a: *znanje o nastavnim strategijama i metodama, znanje o učeničkom razumijevanju i orijentacije prema poučavanju*. Postojanje *znanja o vrednovanju i znanja o kurikulumu* kod istraživanog uzorka nije utvrđeno. Raspon orijentacija prema poučavanju bio je mali i ograničen (uglavnom usmjeren na didaktičke aspekte poput govorenja, pokazivanja, objašnjavanja ili propitivanja učenika). Ipak, iako mali, dio budućih nastavnika nastavu je temeljio na istraživačkom pristupu i poticanju učenika na maksimalni kognitivni i izvedbeni napor (engl. *academic rigor*). Cochran (1997) je zaključio kako vrlo malo znamo o načinima poboljšavanja MZ-a budućih i postojećih nastavnika. Sudjelovanje nastavnika mentora u istraživačkim projektima i provedbi sveučilišnih programa ključno je za razvoj MZ-a budućih nastavnika kemije i za unaprjeđenje nastave kemije.

1.2.1.2. MZ u kemijskom obrazovanju

Raspravljati u nastavi metodičkih kolegija o MZ-u kao o teorijskom konceptu u širem smislu, vjerojatno je *pucanj u prazno*. Mnogo je važnije baviti se MZ-om na način koji izražava njegovu bit, tj. prikazati ga kao specijalnu vrstu znanja transformiranja pojedinih dijelova ZPS-a u oblike jasnog i razumljivog poučavanja i učenja koji (u ispravnom slijedu) najbolje odgovaraju danim okolnostima. Prema tome, nastavu metodičkih kolegija treba temeljiti na konkretnim primjerima iz nastavne prakse i nalazima istraživačkih studija i nekim, ne preširokim, uopćenjima i preporukama. Primjerice, van Driel i sur. (2002) objavili su nekoliko preporuka za obrazovanje budućih nastavnika, koje su proizašle iz njihovog istraživanja. Prvo, predložili su provedbu specifičnih aktivnosti u kontekstu određenog nastavnog sadržaja. Konkretnije, od budućih nastavnika se, kako bi se upoznali s autentičnim učeničkim poteškoćama, može tražiti analiza učeničkih odgovora na pitanja iz pisanih testova ili specifično oblikovanih zadataka. Drugo, u okviru sveučilišnih kolegija preporuča se provedba

radionica u kojima bi bili analizirani znanstveni članci iz područja kemijskog obrazovanja, uz uvjet da vrijeme održavanja i format ovakvih aktivnosti budućim nastavnicima omogućí razmatranje vlastitih iskustava i uvjerenja u kontekstu spoznaja i okolnosti iznesenih u odabranoj literaturi. Treće, i posljednje, uloga mentora zasluđuje posebnu pažnju. Opažene varijacije u mentorskim pristupima i angažmanu studenata sugeriraju da mentori imaju snažan utjecaj na razvoj MZ-a budućih nastavnika.

Bucat (2004) je izvijestio o pokušajima opisa MZ-a o konkretnim kemijskim temama, prvenstveno u kontekstu preduvjeta za nastavu o izotopima, termodinamici, oksidacijsko-redukcijskoj kemiji i kemijskoj ravnoteži. Takve studije s praktičnim rezultatima o MZ-u, a pogotovo one čiji se rezultati odnose na MZ o zahtjevnim kemijskim temama, su posebno važne za unaprjeđenje nastave kemije. S obzirom na to da je kemijsko vezivanje jedna od njih, ovo istraživanje usmjereno je na MZ o kemijskom vezivanju, a pri tome istražuje i jezične probleme u nastavi kemije.

Pod sljedećim naslovom ukratko će biti opisano nekoliko primjera MZ-a o kemijskom vezivanju koji su povezani s jezičnim problemima tijekom nastave kemije. S obzirom na to da je ovo istraživanje primarno usmjereno na treću komponentu MZ-a – *Znanje o učeničkom i studentskom razumijevanju modela kemijskog vezivanja*, u nastavku će sažeto biti prikazani rezultati nekoliko studija o učeničkom i studentskom razumijevanju tih koncepata.

1.2.2. Razumijevanje modela kemijskog vezivanja

Srednjoškolci i studenti kemiju doživljavaju kao apstraktan, složen i zahtjevan nastavni predmet (Nakhleh, 1992; Johnstone, 2000). Slične se značajke pridaju kemijskom vezivanju – jednoj od najvažnijih tema srednjoškolskih i sveučilišnih kurikuluma kemije (Coll i Treagust, 2001; Nicoll, 2001; Taber i Coll, 2002). Doista, razumijevanje kemijskog vezivanja od temeljne je važnosti za razumijevanje gotovo svih ostalih kemijskih tema (Gómez i Martin, 2003), od reaktivnosti u organskoj kemiji do spektroskopije u analitičkoj kemiji (Nicoll, 2001; Pabuçcu and Geban, 2012). Razmatranja načina na koji se čestice udružuju, kao i prirode veza između njih, omogućuju povezivanje značajki strukture s kemijskim i fizikalnim svojstvima tvari (Rompayom i sur., 2011).

Područje kemijskog vezivanja daleko je od učeničkog i studentskog svakodnevnog iskustva (Birk i Kurtz, 1999; Tan i Treagust, 1999). Zbog apstraktne prirode, učenici i studenti imaju poteškoća s poimanjem koncepata tog sadržaja (Ben-Zvi i sur., 1988). Razumijevanje se postiže uporabom različitih modela, od jednostavnih analognih, do sofisticiranih, apstraktnih

matematičkih modela (Fensham, 1975) i različitih simboličkih prikaza (Taber i Coll, 2003). Svakodnevne riječi upotrijebljene u kontekstu kemijskog vezivanja nerijetko imaju drugačije značenje.

Navedene značajke kemijsko vezivanje čine problematičnom temom i za učenje i za poučavanje. Stoga ne čudi što je različitim istraživanjima utvrđen veliki broj pogrešnih poimanja (Barker, 2000; Barker i Millar, 2000; Nicoll, 2001; Barke i sur., 2009; Tan i Treagust, 1999; Coll i Taylor, 2002; Taber, 2001a; Taber, 2002a; Taber i sur., 2012; Ozmen, 2004; Ünal i sur., 2010).

Prepoznavanje i svijest o postojanju učeničkih poteškoća te promišljeno i pažljivo planirano poučavanje kako bi se one izbjegle ili ispravile, važni su elementi MZ-a o kemijskom vezivanju. Slijedi pregledan prikaz literaturnih nalaza o pogrešnim poimanjima kemijskog vezivanja.

1.2.2.1. Pregled literature o pogrešnim poimanjima kemijskog vezivanja

Nicoll (2001) je pogrešna poimanja studenata prediplomskih studija kemije o kemijskom vezivanju kategorizirala u pet skupina: (i) polarnost (neki studenti ne povezuju koncept polarnosti s elektronegativnošću); (ii) *zamjena* veza (pojedini studenti miješaju definicije ionskog i kovalentnog vezivanja, tvrdeći, primjerice, da je ionsko vezivanje dijeljenje elektrona – do istog su zaključka došli Boo (1998) i Sheehan i sur. (2011)); (iii) uzroci vezivanja (neki nude pogrešna objašnjenja o uzrocima nastajanja veza); (iv) *pogrešna* veza (neki vodikovu vezu ne razlikuju od ionskog vezivanja i kovalentne veze) i (v) mikro-vezivanje (primjerice, predodžba studentice Casey o molekuli uključuje elektrone koji se dodiruju).

Kind (2014) je istraživala znanje kemije 265 budućih nastavnika kemije iz Velike Britanije. Utvrdila je da kvalificirani mladi nastavnici imaju značajna pogrešna poimanja o temeljnim kemijskim konceptima koja im onemogućuju razvoj MZ-a. To, primjerice, uključuje sljedeće ideje: *energija se oslobađa kada pucaju veze; ugljik je odgovoran za nastajanje veza; vrenjem vode nastaju vodik i kisik; kovalentne veze su jače/slabije od ionskih veza.*

Boo (1998) je utvrdio i opisao razumijevanje 48 učenika završnog razreda srednje škole o kemijskim vezama i energijskim procesima. Uočio je da većina učenika nije kadra predvidjeti ukupnu energijsku promjenu prilikom nastajanja veze zbog pogrešnog poimanja prirode kemijskih veza. Veliki broj tih učenika kemijsku vezu vidi kao materijalnu tvorbu. Boo (1998) spekulira da pogrešno poimanje o potrebi ulaganja energije za nastajanje veze može biti rezultat ekstrapolacije iskustva iz makroskopskog svijeta na submikroskopski svijet. U

makroskopskom svijetu, naime, bilo kakva proizvodnja (nastajanje) zahtjeva utrošak energije, pa se može činiti, analogno tome, da je u submikroskopskom svijetu energija neophodna za nastajanje veza.

Boo (1998) je izvijestio i o pogrešnim poimanjima ionskog vezivanja. Utvrdio je da pojedini učenici imaju poteškoća s razumijevanjem elektrostatske prirode ionskog međudjelovanja. Neki se čvrsto drže ideje prema kojoj veza nužno uključuje zajednički elektronski par između dva atoma. Privlačenje suprotno nabijenih iona pojedinci poistovjećuju s neutralizacijom ili poništenjem naboja, što vodi k nastanku (*neutralne*) molekule. Čak i učenici koji su imali znanstveno prihvatljive poglede na ionsko vezivanje nisu pokazali dosljednost raspravljajući o promjenama koje se događaju tijekom i nakon miješanja vodene otopine natrijeva klorida i olovljeva(II) nitrata ili ubacivanja komadića magnezija u razrijeđenu klorovodičnu kiselinu. Primjerice, vrlo je mali broj učenika mislio da se ionsko vezivanje narušava prilikom otapanja tvari. Većina je otapanje ionskih kristala konceptualizirala kao proces suprotan nastajanju iona – kada ionske *veze* u kristalu natrijeva klorida *puknu*, pozitivni se naboj oslobođenih kationa neutralizira primanjem elektrona s kloridnih iona.

Boo (1998) je utvrdio da neki učenici vjeruju kako otapanje ionskih spojeva u vodi ne utječe na veze među ionima te tvari, već da dolazi do pucanja slabijih veza (koje se uglavnom shvaćaju kao van der Waalsove interakcije) između *ionskih molekula*. Primjerice, 15 od 48 učenika misli da su u razrijeđenoj otopini klorovodične kiseline ioni vodika i klora povezani ionskim vezama. Isto tako misle da se u vodenoj otopini natrijeva klorida ioni natrija ionskim vezama povezuju s ionima klora. Drugim riječima, natrijev klorid u vodenoj otopini je skup diskretnih parova natrijevih i kloridnih iona.

Znanstveno neutemeljenu predodžbu o parovima iona odnosno *ionskim molekulama* detektirali su mnogi istraživači. Primjerice, Barker (1995) je spoznala da pojedini studenti misle kako su, uz vodik, produkt reakcije magnezija i razrijeđene klorovodične kiseline i molekule magnezijeva klorida. Slične je zaključke izveo i Hilbing (prema Barke i Yitbarek, 2009) nakon što je skupinu Njemačkih gimnazijalaca drugog razreda ispitivao o ionskom vezivanju i zatražio opis submikroskopske strukture soli zaostale nakon isparavanja vode iz otopine. Većina učenika je navela kako se zaostala sol sastoji od *čestica soli* ili *čestica natrijeva klorida*. Neki su skicirajući parove iona natrijeva klorida, ukazali na isti problem.

Barker i Millar (2000) uočili su da neki učenici ionske spojeve vide kao nakupine izdvojenih molekula, poput onih u kovalentnim spojevima, pa u skladu s tim i misle kako su ionske veze

strogo usmjerene u prostoru te da podliježu istim *pravilima* kao i kovalentne veze. Uz otkriće kako mnogi učenici ionsko vezivanje ne doživljavaju kao trodimenzijsku interakciju, Butts i Smith (1987) uočili su da dio njih natrijev klorid shvaća kao tvar sastavljenu od molekula u kojima su atomi natrija i klora povezani kovalentnom vezom. Dok jedni misle da su molekule u čvrstim tvarima povezane kovalentnim vezama, drugi misle kako ionske veze u natrijevom kloridu povezuju molekule u kristalnu strukturu.

Coll i Treagust (2003) su utvrdili kako se najzastupljenije pogrešno poimanje učenika srednjih škola o ionskom vezivanju odnosi na predodžbu o atomsko-molekulskoj građi ionskih kristala. Iako većina tih učenika ionsko vezivanje pravilno doživljava privlačenjem suprotno nabijenih čestica, nastajanje iona tumače kao proces prijenosa elektrona koji je posljedica pravila okteta, odnosno težnjom za stabilnošću koju se postiže popunjavanjem vanjske elektronske ljuske.

1.2.2.2. Prepreke razumijevanju modela kemijskog vezivanja

Uzimajući u obzir veliki dio prethodno navedenih pogrešnih poimanja, Taber i Coll (2002) su probleme nerazumijevanja kemijskog vezivanja povezali s četirima preprekama za učenje: (a) učenici imaju pogrešne ideje o razlozima nastajanja kemijskih veza; (b) učenici sve tipove veza povezuju s izdvojenim česticama – molekulama i ne razumiju prirodu ionskog i metalnog vezivanja te velikih kovalentnih struktura; (c) učenici vezama smatraju samo ono što se može povezati s *prijenosom elektrona* i *dijeljenjem elektronskog para*; (d) učenici mogu imati problema s percipiranjem prijelaznih tipova veza (primjerice, polarnih veza). Slijedi detaljniji opis svake od navedenih prepreka.

- (a) Utvrđeno je da mnogi učenici pravilo okteta koriste kao temeljni princip za objašnjavanje kemijskih reakcija i kemijskog vezivanja. Prema tome *eksplanatornom principu popunjenih ljuski*, do kemijskog vezivanja dolazi *zbog težnje (atoma) za postizanjem stabilne elektronske strukture (tj. popunjavanjem vanjske ljuske s 8 elektrona)*. Učenici i studenti često povezuju *dijeljenje elektrona* u kovalentnim molekulama s popunjavanjem vanjske ljuske atoma, pa ispada da je *kovalentna veza dijeljenje elektrona do kojeg dolazi da bi se popunile vanjske ljuske atoma* (Taber, 2012). Slično tome, ionsko se vezivanje poima kao *proces otpuštanja i primanja elektrona koji se događa da bi se popunile vanjske ljuske*. Utvrđeno je kako se *eksplanatorni princip popunjenih ljuski* koristi i u objašnjavanju metalnog vezivanja (Taber, 2012).

Evidentno je, dakle, kako mnogi učenici i studenti kao razlog nastajanja veza vide *motiviranost* atoma za postizanjem stanja popunjene vanjske elektronske ljuske. Takva kognitivna konceptualizacija pravila okteta (Taber, 1998) može biti toliko snažno razvijena da neki od najboljih učenika natrijev kation smatraju stabilnijom kemijskom vrstom od natrijeva atoma jer mu je vanjska ljuska popunjena elektronima. Pojedini učenici Na^{7-} anion smatraju stabilnom česticom zbog oktetne strukture (Taber, 2000a).

Iz prethodnog je vidljivo da je *eksplanatorni princip popunjenih ljuski* suštinski antropomorfan. Literaturni nalazi, kao i naše iskustvo, sugeriraju da je antropomorfološki jezik dio učeničkih i studentskih objašnjenja (kao i nastavničkih, pa i udžbeničkih). Međutim, je li to problem? Ako je snažni antropomorfizam samo faza u razvoju razumijevanja, pretpostavili su Taber i Watt (1996), onda se s povećanjem razine objašnjenja očekuje smanjenje takve pojavnosti. Dorion (2011) je potvrdio takvu pretpostavku, dodavši kako nije dob, već je stupanj nečijeg znanja, indikator tendencije korištenja teleoloških antropomorfizama, kao i da antropomorfološke analogije mogu biti prve reakcije učenika kada ih se suoči s nedostatkom razumijevanja ili nemogućnosti prisjećanja znanja.

- (b) Prema modeliranom kemijskom pogledu, neke su kovalentne tvari sastavljene od molekula, a druge od atoma umreženih u velike kristalne sustave. Metali i soli nisu sastavljeni od molekula, već od međusobno povezanih iona. Ova se različitost ponekad ne prepoznaje – mnogi učenici konceptualiziraju tvari kao da su uvijek građene od molekula (Taber i Coll, 2002). Obično prvi koncept kemijskog vezivanja s kojim se učenici susreću – koncept kovalentne veze kojom se vežu atomi u molekulama – može biti izvor takvih poteškoća, ako se nije dobro razumjela priroda kemijskih veza. Nahum i sur. (2007) su, kao dio MZ-a, naveli i opisali pristup koji može pomoći u rješavanju tog problema. Primijetili su kako se u nastavnom programu tvari klasificiraju prema *svojstvima* u četiri različite skupine struktura (ionske, molekularne, kovalentne i metalne) te tumače i raspravljaju, svaka zasebno, prema kemijskim vezama između njihovih čestica. Ovi tipovi kemijskih veza (ionske, kovalentne i metalne) obično se obrađuju kao zasebne cjeline što može predstavljati prepreku razumijevanju. Stoga su predložili novi pristup koji se temelji na principima i konceptima zajedničkim za sve tipove veza i primjeni tih ideja za objašnjavanje struktura i svojstava molekula i tvari.
- (c) U kontekstu razumijevanja kemijskog vezivanja, utvrđeno je nekoliko dihotomija. Nahum i sur. (2007) su uočili da se kemijski elementi, u mnogim udžbenicima kemije,

uobičajeno klasificiraju kao metali ili nemetali. Ako se i spomenu polumetali, u pravilu im se ne poklanja pažnja. Vrlo često, ova dihotomija kemijskih elemenata vodi k dihotomnoj klasifikaciji kemijskog vezivanja: kovalentna veza uspostavlja se između nemetala, a ionska između metala i nemetala. Istraživanja potvrđuju da učenici na kraju sekundarnog obrazovanja uobičajeno razlikuju samo dvije vrste kemijskih veza – kovalentnu i ionsku (Taber, 2002a). Jednom kada se učvrsti ta dihotomna shema, učenicima je teško pravilno pojmiti intermedijarne veze (polarne veze) ili one koje se ne uklapaju u ovu usku definiciju kemijskih veza (primjerice, vodikove veze) (Taber, 2002a).

- (d) U svjetlu koncepta polarnih kovalentnih veza, Harrison i Treagust (1996) su uočili da polarnost molekula, polarnost veze i oblik molekula, učenicima mogu predstavljati probleme. Prema Taberu i Collu (2002), uzroke tome treba tražiti u nerazumijevanju elektronegativnosti i dihotomiji promišljanja o ionskoj i kovalentnoj vezi. Kada učenici razmišljaju na takav način, radije će polarnu vezu opisivati kao modificiranu kovalentnu nego nešto između kovalentne i ionske veze. Štoviše, vrlo je vjerojatno da će polarnost takve veze ignorirati u potpunosti (Taber, 2012). Tendencija zanemarivanja polarnosti veze vodi k drugim pogreškama. Primjerice, učenici koji klasificiraju fluorovodik kao tvar sastavljenu od kovalentnih, a ne polarnih molekula, često će solvatizirane kemijske vrste te tvari smatrati molekulama i nakon otapanja tvari u vodi. Slično prethodnome, Bergquist (2012) je analizom udžbenika kemije utvrdila nejasno objašnjene odnose između polarnih kovalentnih veza i polarnih molekula i zaključila da taj problem također može biti uzrokom nerazumijevanja tih konceptata.

Nastavno na prethodno, Taber i Coll (2002) su, kao doprinos MZ-u o kemijskom vezivanju, izdvojili četiri temelja za poučavanje tog sadržaja na srednjoškolskoj razini: (a) Kemijske veze nastaju uslijed djelovanja električnih sila; (b) Kemijsko vezivanje ne mora uključivati molekule; (c) Nisu sve veze kovalentne ili ionske i (d) Između kovalentnog i ionskog postoji i intermedijarno vezivanje.

Jezik nastave kemije posebno je važan čimbenik učenja i poučavanja. Problemi razumijevanja kemije, a time i razumijevanja konceptata kemijskog vezivanja, povezani su s neadekvatnim kompetencijama komuniciranja kemijskim jezikom (Özcan, 2013, prema Strübe i sur., 2014). Stoga je izgradnja MZ-a o učeničkom razumijevanju i pravilnoj uporabi jezika u nastavi kemije jedan od temelja uspješne nastave o kemijskim vezama. Stoga će u nastavku biti detaljno

objašnjena važnost jezika u nastavi kemije i pregledno prikazani rezultati relevantnih istraživanja.

1.2.3. Jezik nastave kemije

Sposobnost koju učenici i studenti trebaju izgraditi da bi bili uspješni u kemiji jest razumijevanje njezinog jezika (Ver Beek i Louters, 1991). Jezik je temelj znanosti. To je medij kroz koji se tvrdnje izražavaju i suprotstavljaju, empirijske metode opisuju, podatci iskazuju i istraživačke priče otkrivaju (Carlsen, 2007). Postman i Weingartner (1971) otišli su korak dalje izjavivši: *Gotovo sve što uobičajeno nazivamo znanjem je jezik*, što znači da je ključ razumijevanja nastavnog predmeta, razumijevanje njegova jezika. Bent (1984) je složenost jezika kemije opisao uspoređujući kemiju sa stranim jezikom: *Kemija je dvostruki strani jezik: nepoznati termini koriste se za nepoznate stvari*. Uz to, jezik znanosti, posebice jezik kemije, *ima mnogo lica* i složeniji je od običnog, svakodnevnog jezika (Childs i sur., 2015). Čak i da nije tako, nerazumijevanje jedne riječi može biti nepremostiva prepreka razumijevanju rečenice ili koncepta. Lemke (1998a) je značaj riječi opisao na sljedeći način:

Svaka je riječ bogata značenjima. Također, svaka je riječ sjecište mnogih tvrdnji i razgovora. Svaka riječ u kontekstu, dio je moguće zamjene značenja u komunikaciji različitih članova društva.

Ono što vrijedi za riječi jednako vrijedi i za slike, dijagrame, grafove, jednadžbe i simboličke prikaze (Lemke, 1998b).

1.2.3.1. Poteškoće učenika i studenata s jezikom nastave kemije

Rezultati mnogih studija ukazuju na jezične poteškoće studenata kemije. Herron (1996) je opisao pet kategorija takvih poteškoća: (i) nedostatak razumijevanja uvriježenih riječi koje se koriste u nastavi kemije, (ii) nedostatak razumijevanja tehničkih termina uvedenih tijekom učenja kemije, (iii) pripisivanje poznatog (uvriježenog) značenja riječima koje se koriste u tehničkom kontekstu, (iv) upotreba svakodnevnog značenja tehničkih (znanstvenih) termina u konstruiranju netočnih zaključaka o submikroskopskim događajima i (v) nedostatak automatizacije u primjeni standarda specijaliziranog jezika, automatizacije potrebne da bi se *kemija čitala* fluentno.

Simultano s upoznavanjem kemijskog sadržaja, učenici i studenti upoznaju se s jezikom nastave kemije. Ta dva neraskidivo povezana procesa pružaju mogućnosti za puni razvoj, ali kriju i potencijalne prepreke. Jezik je možda i veća barijera stjecanju znanja od samog sadržaja (Gabel, 1999; Yong, 2003). Pyburn i sur. (2013) utvrdili su korelaciju između sposobnosti

razumijevanja jezika i uspjeha u kemiji, te preporučili uključivanje aktivnosti za razvoj jezičnih sposobnosti u nastavu opće kemije. Uvažavajući prethodno, čini se logičnim da u cilju postizanja razumijevanja, jezičnim prekursorima treba pridati jednaku pozornost kao i sadržajima. Taber (2015) je primijetio da iskusni kemičari, tijekom nastave, jezične vještine studenata znaju uzimati *zdravo za gotovo* ignorirajući potrebu bavljenja tim problemom. U kontekstu razumijevanja simboličkog jezika citirao je Laszla (2002):

... Vjerojatno će pasti na tehničkom žargonu, na koji su navikli. I to ne zbog lijenosti. Naš "elektron-forsirani" žargon reakcijskih mehanizama lijep je način međusobne komunikacije. To je jedna ekonomična stenografija. Da bi proširili njegovu uporabu od laboratorija do učionice, u kojima poučavamo studente sekundarnog interesa (engl. non-majors, op.a.), lingvistički nekompetentne govornike prisiljavamo da savladaju sleng, ne dozvoljavajući im da se izraze na materinjem jeziku...

Baza istraživačkih dokaza o posebnostima učeničkog i studentskog razumijevanja jezika brzo raste posljednjih godina. Vjerojatno je prvo značajnije istraživanje, koje je usmjerilo pozornost na probleme slabog razumijevanja vokabulara, proveo Gardner (1972). Izvijestio je o učeničkom razumijevanju netehničkih riječi korištenih u nastavi prirodoslovlja. Zaključio je kako značenje mnogih riječi na koje se nastavnici često oslanjaju, poput riječi *udružiti (associate)*, *prosjek (average)*, *suprotnost (contrast)*, *istovremeno (simultaneous)* i *teorija (theory)*, učenicima nije potpuno jasno. Istraživanje je rezultiralo listom riječi organiziranih prema razinama složenosti.

Slična studija, utemeljena uglavnom na riječima kojima se bavio Gardner, provedena je u Velikoj Britaniji kao dio projekta Kraljevskog kemijskog društva (1977.–1979.). Sudjelovalo je oko 23 000 učenika i studenata. Da bi se izbjegao utjecaj konteksta na značenje, razumijevanje svake riječi ispitivano je s nekoliko pitanja. Općenito gledajući, uočeni su slični problemi kao u Gardnerovom (1972) istraživanju.

Između netehničkih riječi koje učenicima i studentima mogu predstavljati poteškoće, posebnu pozornost, prema mišljenju Casselsa i Johnstona (1980), zaslužuju riječi s različitim konotacijama, riječi koje zvuče slično i riječi sličnog značenja. Njihova je značenja tijekom nastave, kad god je to prikladno, potrebno raspraviti s učenicima i studentima. Preporučili su, nadalje, da značenje riječi treba objašnjavati u kontekstu i da učenike treba ohrabrivati u izražavanju značenja novih riječi svojim riječima.

Prema Casselsu i Johnstonu (1980), općenito gledajući, riječima s višestrukim značenjem lakše je razumjeti značenje u neznanstvenom kontekstu, nego ga shvatiti u znanstvenom kontekstu. Tragajući za jasnijim naznakama kako nastavnici mogu pomoći učenicima u uspostavljanju veza između postojećeg i novog vokabulara, Cassels i Johnstone (1985) upotrijebili su zadatke višestrukog izbora s 95 riječi koje su učenicima bile *najteže*, a dane su im danih u (i) svakodnevnom kontekstu, (ii) znanstvenom kontekstu i (iii) bez konteksta. Pokazalo se da svega nekoliko riječi učenici dobro razumiju. U brojnim je slučajevima valjanim prosuđeno značenje suprotno značenju razmatrane riječi.

Upotrebljavajući slična pitanja kao Cassels i Johnstone (1985), Pickersgill i Lock (1991) su, na uzorku učenika u dobi od 14 do 15 godina, istražili razumijevanje određenih netehničkih riječi. Marshall i sur. (1991) proveli su slično istraživanje na uzorcima učenika od sedmog razreda pa sve do studenata prve godine studija. U oba je slučaja izveden zaključak da značajan broj učenika (i studenata, u Marshallovoj studiji) nije razumio značenja većine riječi. Obje su studije rezultirale popisom riječi kojima treba posvetiti posebnu pozornost. Primjerice, pronađeno je da su riječi *konzistentan/dosljedan (consistent)*, *uređaj (device)*, *evakuirati (evacuate)*, *izvršiti (exert)* u grupi *najtežih* riječi (Marshall i sur., 1991). Također, u obje je studije prepoznat problem antonima.

Marshall i sur. (1991) izvijestili su o tendenciji učenika da zamjenjuju značenja riječi s onima koje su im grafomorfološki ili fonetski slične. Njihovi rezultati pokazuju napredak u razumijevanju značenja riječi od nižih prema višim razredima, iako taj trend nije univerzalan. Slično njima, Wellington i Osborne (2001) utvrdili su opći, ali opet ne i univerzalni porast razumijevanja riječi od prvog do šestog razreda.

Johnstone i Selepeng (2001) su, na uzorku učenika starosti od 15 do 16 godina, ponovili dio istraživanja Casselsa i Johnstona. Propitivali su poznavanje značenja 25 riječi koje bi nastavnik prirodoslovnih predmeta upotrijebio u uvjerenju da ih učenici potpuno razumiju. Identificirali su probleme slične onima koji su utvrđeni ranijom studijom.

Farrell i Ventura (1998) istražili su imaju li malteški učenici viših razreda srednje škole poteškoće s razumijevanjem odabranih riječi. Uz to, istražili su razlike između učeničkog dojma razumijevanja (kada su učenici smatrali da razumiju) i stvarnog razumijevanja (kada su uistinu razumjeli). Istraživanje je provedeno na uzorku od 306 učenika prosječne dobi od 17 godina, koji su bili uključeni u nastavu fizike za napredne (engl. *advanced-level*). Ispitano je razumijevanje 75 najčešće upotrebljavanih riječi na A-razini poučavanja fizike. Među njima je

bilo 50 netehničkih riječi (primjerice, *višak (excess)*, *povezani (related)* i *slučajan (random)*) i 25 tehničkih riječi (primjerice, *mol*, *ubrzanje* i *snaga*). Utvrđeno je nerazumijevanje 31 netehničke riječi i svih tehničkih riječi. U većini slučajeva, postotak učenika koji su znali značenje riječi bio je značajno niži od postotka onih koji su smatrali da znaju. Ovaj zaključak vrijedi u slučajevima svih tehničkih riječi.

Lynch i sur. (1979) i Meyerson i sur. (1991) proveli su studije, usmjerene isključivo na razumijevanje tehničkih riječi. Lynch i sur. (1979) ispitivali su stjecanje znanja o značenju tehničkih riječi povezanih s temom *Priroda tvari*. U istraživanju je sudjelovalo 1635 učenika u dobi od 12 do 16 godina. Uz pomoć zadataka višestrukog izbora, od učenika se tražilo prepoznavanje jednostavnih definicija 16 konceptualnih pojmova kao što su *masa*, *kemijski element*, *atom*, *elektron* i *smjesa*. Rezultati ukazuju na probleme razumijevanja upotrijebljenih riječi. Primjerice, više od 30 % najstarijih učenika nije odabralo odgovarajuću definiciju *čvrste tvari*. Čak 60 % njih nije prepoznalo definiciju *elektrona*. Meyerson i sur. (1991) utvrdili su porast znanstvenog vokabulara učenika, od trećeg do petog razreda. Međutim, uočili su i probleme uporabe tehničkih riječi, posebice ako su imale višestruko značenje. Mnogim višeznačnim riječima pridavano je isključivo svakodnevno značenje. Primjerice, nekoliko je učenika trećeg razreda definiralo *masu (mass)* kao nešto što se događa u crkvi (zato jer se u engleskom jeziku riječi *misa* i *masa* jednako pišu i čitaju, *engl. mass*).

Kemijski vokabular koji, uz znanstveno, ima i svakodnevno značenje, potencijalna je prepreka razumijevanju kemije. Stoga ne čudi što je veliki broj istraživača, poput Casselsa i Johnstona (1980, 1985), Browna i Spanga (2008), Snowa (2010), Jasiena (2010, 2011) i Browna (2011) istražio tu problematiku. Song i Carheden (2014) proveli su kvalitativnu studiju istražujući studentsko razumijevanje značenja odabranih riječi s dvostrukim značenjem (RDZ), prije i nakon nastave kemije. Pronašli su sljedeće: (i) većina studenata prije nastave RDZ-u pridaje svakodnevno značenje, (ii) nakon nastave, usvojenost znanstvenog značenja RDZ-a je slaba, (iii) slaba usvojenost znanstvenog značenja razmatranih riječi pripisuje se neučestaloj uporabi, navikama učenja i nepoznavanju drugih znanstvenih riječi. Posljednji od tri navedena zaključka upućuje kako slabo poznavanje riječi iz znanstvenog vokabulara, barem u slučaju RDZ-a, može imati multiplicirajući učinak.

Uporaba simboličkog jezika u nastavi kemije učenicima i studentima može biti veliki izazov. Složenost interpretacija različitih oblika simboličkog jezika analizirali su Bucat i Mocerino (2009), u kontekstu strukturnih prikaza i Taber (2009), u kontekstu kemijskih formula i jednadžbi kemijskih reakcija. Ovisnost odgovarajućih interpretacija kemijskog simbolizma i

svijesti o razinama kemijskog tripleta (Johnstone, 1982, 1991), raspravili su Talanquer (2011), Taber (2013) i Bucat (2014). Stieff i sur. (2013) proveli su dvije studije slučaja o *učioničkoj raspravi* o fizikalnim i kemijskim promjenama tvari i zaključili da učenici i nastavnici drugačije, s različitih razina, opisuju uzroke kemijskih fenomena. Dok nastavnici tijekom poučavanja, koristeći raznovrsne izvore znanja, nesustavno i najčešće nesvjesno, prelaze s jedne razine na drugu, učenici uglavnom iskazuju *razine zbunjenosti*: svojstva makroskopskih tvari pridaju submikroskopskim česticama, usmeno komuniciraju u simbolima, modelirani svijet doživljavaju stvarnim i sl.

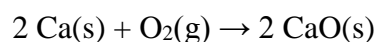
Simboli, kao i riječi, mogu uzrokovati poteškoće u razumijevanju kemije (Marais i Jordaan, 2000). To opažanje u skladu je s Wellingtonovom taksonomijom znanstvenih riječi (1983), prema kojoj se najveći problemi mogu očekivati s razumijevanjem *matematičkih riječi*, odnosno simbola, jer su oni na najvišoj razini apstrakcije.

Specijalizirani jezik kemije utemeljen na simboličkim prikazima, fundamentalna je značajaka kemije kao znanosti i kemije kao nastavnog predmeta. Različitim se tipovima simbola prikazuju makroskopski fenomeni i submikroskopske jedinice (Cheng i Gilbert, 2009). Složenost simboličkog sustava može se pojmiti već analizom značenja slova koja, ponekad u kombinaciji s brojevima, između ostalog, simboliziraju (Taber, 2009b):

- imena kemijskih elemenata (H, He, Li, itd.), od kojih je mali broj na hrvatskom jeziku očigledno povezan sa svojim simbolom (primjerice, ime helij je intuitivno vezano sa simbolom He; između imena željezo i simbola Fe nema takve veze).
- protonski broj (Z) i nukleonski broj (A)
- različite mjerljive veličine kao što su množina tvari, masa, volumen, tlak, valna duljina, temperatura, entalpija, entropija ($n, m, V, P, \lambda, T, H, S$) itd.
- skraćenice jedinica fizikalnih veličina (mol, kg, m^3 , Pa, cm^{-1} , K, itd.), uključujući i njihove kombinacije ($mol\ dm^{-3}$, $J\ mol^{-1}$, itd.)
- različite konstante (k, H, K_a, z , itd.)
- oznake matematičkih odnosa kao što su promjena ili znak za *veće* ($\Delta, >,)$
- oksidacijska stanja u imenima spojeva, kao u sljedećim slučajevima: željezov(II) klorid i željezov(III) klorid; natrijev triokso-sulfat(IV) i natrijev tetraokso-sulfat(VI).

Poznavanje značenja slovnih simbola je nužno, ali ne i dovoljno, da bi se razumio ili opisao neki kemijski koncept. Primjerice, znanje da simbol O predstavlja jedan atom kisika, dok O₂ označava molekulu, tek je najosnovniji preduvjet razumijevanja značenja kemijskih jednadžbi

kojima se opisuju promjene u kojima sudjeluje kisik. Pisanje ili tumačenje kemijske jednadžbe za učenike može biti zahtjevan zadatak. Razmotrimo jednadžbu koja prikazuje relativno jednostavan proces izgaranja kalcija:



Razumijevanje ovog izraza, između ostalog, podrazumijeva znanje da zapis Ca(s) predstavlja elementarnu čvrstu tvar kalcij te da formula CaO(s) simbolizira čvrstu tvar, kalcijev oksid, i iskazuje njezin sastav. Jednostruka strelica, (\rightarrow), za razliku od drugih vrsta strelica, implicira nepovratnost procesa kojim nastaje produkt. Množine tvari koje reagiraju i množine tvari koje nastaju reakcijom povezuju omjeri koje indiciraju koeficijenti. U ovom slučaju, određena množina kisika, $\text{O}_2(\text{g})$ reagira s dvostruko većom množinom kalcija, Ca(s) , pri čemu, u odnosu na množinu utrošenog kisika, nastaje dvostruko veća množina kalcijeva oksida, CaO(s) .

Da bi razumjeli jednadžbe kemijskih reakcija, učenici trebaju razlikovati stehiometrijske koeficijente i indekse, elementarne tvari od kemijskih spojeva, molekularne od ionskih tvari, molekulske formule od formulskih jedinki ionskih spojeva. Kombinacijom simbola složenost izraza raste. Unatoč tome, nastavnici planiraju i provode nastavu pretpostavljajući učeničko ili studentsko razumijevanje relevantnih simboličkih izraza.

Uz prethodno, u obzir treba uzeti i činjenicu da se svaka kemijska vrsta imenuje prema utvrđenim pravilima pa se od učenika i studenata očekuje sposobnost dedukcije imena iz simboličkog prikaza strukture ili sastava (dekodiranje). Suprotno od toga, sastav neke čiste tvari treba znati prikazati kemijskom formulom konstruiranom na temelju imena (kodiranje). Dekodiranje i, posebice kodiranje, procesi su koji mogu uzrokovati kognitivnu nelagodu (Bradley i Steenberg, 2008).

Marais i Jordann (2000) utvrdili su da studenti prve godine sveučilišnog studija nisu bili u stanju prepoznati valjano značenje znakovlja koje se redovito upotrebljava u kemijskim prikazima i jednadžbama (poput, $\Delta H > 0$, \rightarrow , $[\text{NO}_2]$ i 2NO_2). Pokazalo se da studenti moraju poduzeti niz (kognitivnih) koraka koji uključuju razumijevanje simbola da bi odgovorili na naizgled jednostavno pitanje o narušavanju ravnotežnog stanja sustava plinovitih tvari. Autori su, u kontekstu ispitnih pitanja, zaključili sljedeće: ... *Kako možemo očekivati da studenti odgovore na naša pitanja, ako je temeljna istina da se točnom odgovoru možemo nadati samo ako student u potpunosti razumije pitanje? Razumijevanje pitanja podrazumijeva razumijevanje jezika (riječi i simbola) upotrijebljenog u formulaciji pitanja.*

Taskin i Bernholt (2014) detaljno su analizirali veliki broj članaka o učeničkom i studentskom razumijevanju i upotrebi kemijskih formula. Identificirali su tri kategorije učeničkih i studentskih problema i poteškoća, od kojih su prva i treća relevantne za ovo istraživanje: (i) jezični problemi, (ii) problemi konceptualnog razumijevanja i (iii) problemi neadekvatnog odabira i interpretiranja formula.

Jednadžbe kemijskih reakcija su najčešći, ali ne i jedini simbolički sustavi za opisivanje kemijskih promjena. Primjerice, gorenje kalcija moguće je, osim jednadžbom, prikazati i nizom drugih simboličkih alata, od čestičnih crteža do animacija i simulacija. Od učenika i studenata očekuje se razumijevanje sadržaja u svakom od tih simboličkih sustava, ali i sposobnost transliranja sadržaja iz jednog sustava simbola u drugi.

Nema sumnje da je razumijevanje riječi važno za razumijevanje kemijskih fenomena, ali u nastavi kemije treba se oslanjati na kombinaciju i interakciju riječi, simbola, crteža, dijagrama, animacija, jednadžbi, tablica i grafova. Svi ti jezični sustavi *prenose* značenje na različite načine – svi imaju svoje prednosti i svoja ograničenja (Wellington i Osborne, 2011).

1.2.3.2. Jezik u nastavi o kemijskom vezivanju

Kemijske veze su koncepti čije se razumijevanje postiže uporabom različitih modela i pri čemu se od učenika i studenta očekuje interpretacija velikog broja različitih simbola (Taber i Coll, 2002; Coll i Taylor, 2002). Također, da bi protumačili iskustva i razumijevanja odnosno objasnili prirodne zakonitosti, znanstvenici, učenici i studenti izgrađuju mentalne predodžbe (Coll i Treagust, 2003a; Coll i Treagust, 2003b). Očito je za uspješnu komunikaciju u kemiji, uz pisanu i izgovorenu riječ, nužno koristiti i druge oblike izražavanja. Stoga se svaka nastavna jedinica može smatrati lekcijom iz jezika (Wellington i Osborne, 2001). To je posebno naglašeno u području kemijskog vezivanja gdje pogrešna (ili loša) uporaba jezika može izazvati ili potencirati probleme nerazumijevanja već dovoljno kompleksnog sadržaja. Neki od problema prepoznati su, što se može objasniti sljedećim primjerom. U okviru MZ-a je potrebno je osvijestiti da pojam *dispersijske sile*, koji se u kemiji odnosi na slabe privlačne sile, može uzrokovati nerazumijevanje, primjerice strukture molekulskih kristala, jer u svakodnevnom kontekstu taj pojam ima suprotno značenje (sile raspršenja) (Bucat, 2004). Slično tome, važno je osvijestiti da je *dijeljenje* elektrona metaforički, a ne tehnički opis kovalentne veze, kako ga učenici najčešće doživljavaju (Taber, 2002a). Jedan od zadataka MZ-a kemije, odnosno MZ-a o kemijskom vezivanju je prepoznati ovakve probleme i ponuditi efikasne (pa i jezične) strategije kako bi se problemi izbjegli ili riješili.

1.2.3.3. Jezik i MZ

Iako veza MZ-a s jezikom nastave predmeta prirodnih znanosti nije istaknuta u teorijskim razradama tog koncepta, u posljednje se vrijeme istražuje pod okvirom metodičkog znanja o jeziku (MZJ) (engl. *pedagogical language knowledge*) koje Bunch (2013) definira kao znanje o jeziku poučavanja i učenja discipline, smještenom u određeni kontekst. Nastojeći još jasnije povezati sadržaj predmeta s njegovim jezikom, Markic (2016) je uvela termin *pedagogical scientific language knowledge*, određujući ga kao MZ o znanstvenom jeziku (MZZJ), s fokusom na znanstveni jezik kemije. Rezultati studije u kojoj je sudjelovalo 11 nastavnika kemije i biologije te kemije i fizike (Markic, 2017) ukazuju na niske razine njihovog MZZJ-a i, u nekim slučajevima, naivni pogled na poučavanje znanstvenog jezika. Pokazalo se da nastavnici nemaju dostatno znanje o poučavanju i učenju znanstvenog jezika tijekom nastave prirodoslovnih predmeta. Posebno u situacijama kada je potrebno odabrati strategiju, metodu i alate za poučavanje znanstvenog jezika, njihovo se znanje može opisati kao nepotpuno i nedovoljno (Markic, 2017).

1.3. Motivacija za istraživanje

Kemijsko vezivanje poseban je dio (nastave) kemije o kojem se komunicira uporabom specifičnog jezika. Zbog apstraktne prirode mnogih modela⁴ koji se međusobno preklapaju i nadopunjuju, studenti i učenici razvili su mnoge, u literaturi detaljno dokumentirane, pogrešne predodžbe. Zbog toga je razvoj MZ-a o kemijskom vezivanju, uključujući i povećanje jezičnih kompetencija, od izrazitog nastavnog i istraživačkog interesa.

Svijest o postojanju učeničkih i studentskih poteškoća u učenju, uključujući znanje o konkretnim pogrešnim poimanjima, neophodan je preduvjet planiranja i smislenog organiziranja nastave. Nastavnikov posao najčešće nije učenike i studente dovesti od neznanja do znanja, već utjecati na promjenu postojećih načina na koje razumijevaju svijet (Taber, 2009a). Sam sam tijekom nastavnog rada s budućim nastavnicima kemije uočio potrebu upravo za takvim modifikacijama. Predodžbe pojedinaca o kemijskom vezivanju, naime, nisu u skladu sa znanstveno prihvaćenim modelima. Detaljno utvrđivanje alternativnih konceptualizacija te razumijevanje uzroka njihova nastanka, nužan su uvjet uspješnom interveniranju u proces učenja i poučavanja budućih nastavnika kemije. Zbog toga je provedeno ovo istraživanje o

⁴ Riječ *model* u ovom slučaju označava konceptualni, a ne fizički prikaz znanstvenog fenomena. Takvo je značenje termina koje se često koristi u ovoj disertaciji: model kovalentnog vezivanja, model ionskog vezivanja i sl.

razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja te učincima metode nazvane *Otvoreni intervju*, upotrijebljene za dijagnozu razumijevanja i rekonstrukciju znanja.

Iako je znanstvena literatura bogata informacijama o pogrešnim poimanjima učenika i studenata o kemijskom vezivanju, podataka o nastavničkom (ne)razumijevanju gotovo da nema. S obzirom na to da jasnu uvjetovanost rezultata učenja i poučavanja određuje rad nastavnika, utvrđivanje eventualnih pogrešnih poimanja nastavnika značajno bi doprinijelo širem sagledavanju i rješavanju problema. Stoga su u istraživanje o razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja, uz učenike srednjih škola i studente prirodoslovno-matematičkih fakulteta uključeni i srednjoškolski nastavnici kemije iz RH. Slika o razumijevanju kemijskog vezivanja na svakoj od razina obrazovanja pomoći će u prepoznavanju najznačajnijih problema cijelog sustava, omogućiti utvrđivanje eventualnih povezanosti i, konačno, osvijetliti uzroke alternativnih uvjerenja. Činjenica da tako nešto, prema dostupnoj literaturi, još nigdje nije napravljeno, dodatan je motiv za provedbu takvog istraživanja.

Literatura, kao što je pokazano u prethodnom odlomku, obiluje dokazima o problemima koje učenici i studenti imaju s tehničkim i netehničkim vokabularom, barem kad je engleski jezik u pitanju. Međutim, do sada nije objavljeno niti jedno istraživanje o jezičnim problemima karakterističnima za nastavu kemije u RH. Za očekivati je da hrvatska kultura, kao i značajke tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih termina iz hrvatskog jezika čine okruženje u kojem se mogu javljati specifični jezični problemi. U određenoj mjeri, slične se poteškoće mogu očekivati i u jezicima susjednih naroda koji su, kao i značajke njihovih obrazovnih sustava, relativno bliski hrvatskome.

S obzirom na to da bi spoznaje o jezičnim poteškoćama učenika i studenata obogatile MZ nastavnika kemije i nastavnika metodike nastave kemije, provedeno je ovo istraživanje kojem je cilj ispitati razumijevanje određenih tehničkih i svakodnevnih termina relevantnih za nastavu kemije. Kako je autor i sam nastavnik *Metodike nastave kemije*, kolegija s tercijarne razine, odlučio je da se dio ovog istraživanja vezan uz jezik nastave kemije provesti i sa studentima. Iako je jednostavan pristup uzorku olakšavajući čimbenik provedbe istraživanja, ova je odluka motivirana, prije svega, željom autora da spozna u kojoj mjeri studenti s njegovog, Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, razumiju značenje različitih riječi i simbola koji se koriste u poučavanju o kemijskom vezivanju odnosno nastavi kemije općenito. U biti, ovaj se dio doktorskog rada može promatrati kao prva etapa longitudinalnog istraživanja u kojem će

autor modificirati poučavanje u skladu s rezultatima, i opetovano provjeravati učinke nove nastave.

Daljnja se motivacija, s vrlo širokim implikacijama u budućnosti, odnosi na činjenicu da će većina studenata uključenih u ovo istraživanje, po završetku studija steći kvalifikaciju nastavnika kemije. Njihovim odlaskom u škole, novostečena znanja o jeziku, kao i MZ o kemijskom vezivanju, trebala bi utjecati na proces i rezultate nastave kemije.

1.4. Cilj istraživanja i istraživačka pitanja

Opći cilj ovog istraživanja je prepoznati poteškoće razumijevanja kovalentnog i ionskog vezivanja te pronaći rješenja kojima će se obogatiti MZ o kemijskom vezivanju. S obzirom na strukturu istraživanja, izdvajaju se tri specifična cilja:

- I) Utvrditi studentsko razumijevanje⁵ odabranih riječi i simbola koje se koriste u nastavi kemije, odnosno učenju i poučavanju o kemijskom vezivanju te pratiti osviještenost budućih nastavnika o pozornosti koju treba pridati jeziku nastave kemije.
- II) Utvrditi razumijevanje modela ionskog i kovalentnog vezivanja.
- III) Osmisliti istraživačko-nastavnu metodu za dijagnozu pogrešnih poimanja ionskog i kovalentnog vezivanja, rekonstrukciju ZPS-a i identifikaciju pokazatelja MZ-a te istražiti njezine potencijale.

U skladu s navedenim ciljevima, osmišljeno je osam istraživačkih pitanja:

- I)
 1. U kojoj mjeri studenti (i) preddiplomskih studija i (ii) diplomskog studija Prirodoslovno-matematičkog fakulteta razumiju: (a) tehničke (znanstvene) riječi i simboličke prikaze koji se koriste u učenju i poučavanju kemije i (b) svakodnevne riječi koje se koriste u učenju i poučavanju kemije?
 2. Kakva je percepcija studenata preddiplomskih studija i diplomskog studija o učeničkom razumijevanju tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije?
 3. Može li se OZO⁶ metodom izazvati porast svijesti studenata o poteškoćama s razumijevanjem riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije?

⁵ S obzirom na ograničene mogućnosti prosuđivanja o razumijevanju sudionika temeljem podataka prikupljenih pojedinim kvantitativnim instrumentima, termin *razumijevanje* u ovoj disertaciji može označavati poznavanje značenja. U slučajevima nedvojbene utvrđenosti viših razina znanja, koristit će se termin *konceptualno razumijevanje*.

⁶ OZO metoda je metoda za istraživanje osviještenosti znanja o razumijevanju pojmova. Njezine značajke opisane su u 3., a učinci u 4. poglavlju.

4. U kakvoj je vezi uspješnost rješavanja problema kemijskog vezivanja i razumijevanje ključnih pojmova?
 5. Koji se jezični problemi budućih nastavnika kemije mogu prepoznati analizom odgovora uparenog testa o kemijskom vezivanju?
- II)
6. Kakvo razumijevanje koncepta kovalentne veze, u usporedbi sa znanstveno prihvaćenim modelom, pokazuju srednjoškolci, studenti i nastavnici kemije u RH?
 7. Kakvo razumijevanje koncepta ionskog vezivanja, u usporedbi s elektrostatskim modelom, iskazuju srednjoškolci, studenti i nastavnici kemije u RH?
- III)
8. Je li *Otvoreni intervju* učinkovita metoda za a) identifikaciju pogrešnih poimanja, b) rekonstrukciju ZPS-a i c) stjecanje MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju?

Uz metodološke značajke ovog istraživanja, u sljedećem je poglavlju opisana i povezanost istraživačkih pitanja s dijagnostičkim instrumentima.

METODOLOGIJA

2. METODOLOGIJA

2.1. Struktura istraživanja

Istraživanje čine tri cjeline. U prvoj su istraživani problemi jezika, u drugoj razumijevanje modela kovalentnog i ionskog vezivanja, a u trećoj dijagnostički, kurativni i konstruktivni potencijal metode *Otvorenog intervjua*⁷ u području razumijevanja modela kovalentnog i ionskog vezivanja (tablica 1). Sadržaj svake cjeline razmotren je u kontekstu MZ-a.

Tablica 1. Struktura istraživanja

1.	Jezik u učenju i poučavanju kemije
2.	Razumijevanje modela kovalentnog i ionskog vezivanja
3.	Primjena i učinci metode <i>Otvorenog intervjua</i> u području razumijevanja modela kovalentnog i ionskog vezivanja

Sažeti pregled značajki istraživanja prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Značajke istraživanja

Paradigma	Pragmatizam
Pristup istraživanju	Kvalitativne i kvantitativne metode Mješovita metoda
Instrumenti i metoda prikupljanja podataka	(UOUR 1, 2 i 3) Upitnik očekivanja učeničkog razumijevanja odabranih pojmova (UPZ) Upitnik poznavanja značenja odabranih pojmova (TS) Test znanja (ZOT) o kemijskim vezama 1 (TA) i 2 (TB) (J-IN) Intervju (jezik nastave kemije) (J-FO) Fokusna grupa (jezik nastave kemije) (MZ-FO) ⁸ Fokusna grupa (MZ o kemijskom vezivanju i osviještenost o važnosti pridavanja pozornosti jeziku nastave kemije) (+KViS) <i>Kovalentne veze i strukture</i> – Upitnik s testom razumijevanja modela kovalentne veze i struktura

⁷ *Otvoreni intervjui* je metoda za identifikaciju pogrešnih poimanja i rekonstrukciju znanja. Njezine značajke i učinci opisani su u 3. poglavlju.

⁸ Istraživanje opisano u ovoj disertaciji nastavljeno je odlaskom budućih nastavnika kemije u škole. Praćeni su načini i rezultati njihova poučavanja o kemijskom vezivanju. Nakon završetka te faze, fokusnom grupom, MZ-FO, istraženi su učinci cjelokupnog istraživanja. Rezultati MZ-FO koji se odnose na sadržaj ove disertacije, prikazani su u poglavlju 3.3. *Otvoreni intervjui*.

(+TTAIB) *The truth about ionic bonding* – Upitnik s testom razumijevanja modela ionskog vezivanja

(OI) Metoda *Otvoreni intervju*; Dnevnik rada, audio zapis, zapis istraživača

Analiza podataka

Deskriptivna statistička analiza

Inferencijalna statistika

2.2. Paradigma i metodologijski pristup

S obzirom na to da je istraživački problem sastavljen od različitih elemenata koji se odnose na različite dionike obrazovnog procesa, primijenjene su različite istraživačke metode. Kvantitativne metode, putem statističke analize i sažimanja izvornih podataka, omogućile su brojčani opis istraživanih pojava, a kvalitativne njihovu dublju, nenumeričku deskripciju. Stoga se ovo istraživanje može opisati kao ono *u kojem je upotrijebljeno više od jedne metode, odnosno ono u kojem su iskazani različiti pogledi na svijet* (Teddlie i Tashakkori, 2003).

Za pojedine elemente istraživačkog problema prikupljeni su samo kvantitativni podatci, primjerice podatci o pogrešnim poimanjima nastavnika srednjih škola o kovalentnom i ionskom vezivanju. Za druge su prikupljeni samo kvalitativni podatci, poput onih o *kritičnim incidentima* uslijed kojih su studenti korigirali ranije utvrđene konceptualizacije kemijskog vezivanja. S obzirom na to da se, u jednom dijelu istraživanja, radi o elementima koji čine cjeline sami za sebe, a tek potom se, kroz triangulaciju, mogu upotrijebiti zajedno kao ključne komponente cjelovitog istraživanja, metodološki se ova studija može klasificirati kao *višemetodska* (engl. *Multimethod study design*) (Morse, 2003).

Kako bi se odgovorilo na istraživačka pitanja koja nisu mogla biti odgovorena samo uz pomoć kvantitativne analize, u pojedinim fazama istraživanja metode su kombinirane. Po definiciji, kombiniranje (miješanje) metoda postupak je prikupljanja, analiziranja i povezivanja kvantitativnih i kvalitativnih podataka u određenim fazama istraživačkog procesa s ciljem boljeg razumijevanja istraživačkog problema (Teddlie i Tashakkori, 2003). Takva se *mješovita metodologija* (engl. *Mixed method design*) provodi da bi se osnažili zaključci, objasnili kvantitativni rezultati te stekao uvid u različita (osobna) iskustva (Creswell i Clark, 2011). Zbog tih je razloga, u pojedinim etapama ovog istraživanja, upotrijebljen upravo takav tip metodologije. Primjerice, kako bi se utvrdili opći trendovi u populaciji, na većem je uzorku sudionika proveden anketni upitnik o razumijevanju značenja određenih pojmova, a potom se izdvojila nekolicina studenata i uz pomoć dubinskih intervjua istražila priroda, tijek i

kauzalnost promišljanja o pojmovima za koje su kvantitativnom analizom utvrđena odstupanja od prosječnih vrijednosti.

Mješovite metode istraživanja mogu se provoditi pod okriljem bilo koje paradigme (Mackenzie i Knipe, 2006), ali pri određivanju filozofskog pravca, posebice u području evaluacije obrazovanja, kao praktično i prilagodljivo okruženje za pristup istraživanju uglavnom se navodi pragmatizam. Odbacujući dualizam (kvantitativno ili kvalitativno), pragmatičari tragaju za efikasnijim načinima rješavanja problema. Inzistirajući na pravilu da je istraživačko pitanje iznad paradigme, nude najpogodniju platformu za postizanje praktično primjenjivih rezultata (Jokić, 2013). S obzirom na to da pragmatizam u središte pozornosti stavlja problem (Creswell, 2003), koji je u ovom radu definiran pomoću istraživačkih pitanja, a istraživaču daje slobodu u primjeni i kombinaciji metoda, može se reći da je filozofska osnova ovog istraživanja utemeljena na pragmatizmu.

2.2.1. Metodologijski pristup cjelinama istraživanja

Svaka od cjelina može se smatrati samostalnim istraživanjem. Međutim, njihovim se povezivanjem omogućuje cjelovitiji uvid u proces stjecanja MZ-a o kemijskom vezivanju. S obzirom na različitost triju cjelina ovog istraživanja, njihove će metodološke značajke biti zasebno opisane redom kojim su navedene u tablici 1. Pri tome će težište biti na dijelu istraživanja sa studentima jer su oni određeni kao uzorak od primarnog značaja.

Ad 1. Metodologija prvog dijela istraživanja je interaktivno-mješovita. Interaktivna je zato što su kvalitativna i kvantitativna metoda miješane prije završne interpretacije rezultata i zato što su oblik i provedba kvalitativne komponente ovisili o rezultatima kvantitativne. S obzirom na to da je naglasak na kvantitativnoj metodi može se reći da je to prioritetni segment ove mješovite metode. Kako je provedbi kvalitativne metode prethodila provedba i analiza rezultata kvantitativne, ova mješovita metoda ima sekvencijalni karakter. Konačno, mješovitom metodom objašnjeni su rezultati analize kvantitativnih podataka pa se ona, prema Brymanovoj (2006) tipologiji miješanja metoda, klasificira kao eksplanatorna.

Ad 2. Drugi se dio temelji na kvantitativnoj metodi. Upitnicima, odnosno testovima znanja istraživano je razumijevanje modela ionskog vezivanja te modela kovalentne veze i struktura.

Ad 3. S obzirom na stupanj povezanosti između kvalitativne i kvantitativne komponente, u trećem je dijelu upotrijebljena mješovita metoda. Cilj primjene mješovite metode, osim povećanja objektivnosti i interpretativne valjanosti triangulacijom metoda, sinteza je komplementarnih kvalitativnih i kvantitativnih rezultata kako bi se bolje razumjelo istraživački

problem. Takav pristup kojim se, radi boljeg razumijevanja, *prikupljaju i obrađuju različiti*, ali kompatibilni podaci o istoj temi (Morse, 1991), osnovna je značajka konvergentno oblikovane mješovite metode (engl. *Convergent mixed methods design*).

U nastavku se sažeto navode informacije o instrumentima i tehnikama prikupljanja podataka, analizi podataka i sudionicima istraživanja. Radi lakše čitljivosti ove disertacije, detaljnije informacije o tim stavkama dane su u zasebnim odjeljcima, neposredno prije prikaza rezultata odgovarajućeg segmenta istraživanja.

2.3. Postupci i instrumenti prikupljanja podataka

Kao što je vidljivo iz tablice 2, podaci su prikupljeni različitim postupcima, odnosno instrumentima. *Test razumijevanja modela kovalentne veze i struktura* (Peterson, 1986), KViS, i *Test razumijevanja modela ionskog vezivanja* (Taber, 2012), TTAIB, već su upotrijebljeni u sličnim istraživanjima. Prevedeni su na hrvatski jezik i nadopunjeni modulom iskaza o stupnju sigurnosti u procjenu točnosti odgovora. Drugi blok zadataka iz *Upitnika poznavanja značenja odabranih pojmova*, UPZ-a, jednim (manjim) dijelom temelji se na setu Johnstonovih i Selepengovih (2000) zadataka. Ostale instrumente navedene u tablici 1, razvio je ili oblikovao autor za potrebe ovog istraživanja. Povezanost postupaka i instrumenata istraživanja s istraživačkim pitanjima pregledno je prikazana u tablici 3.

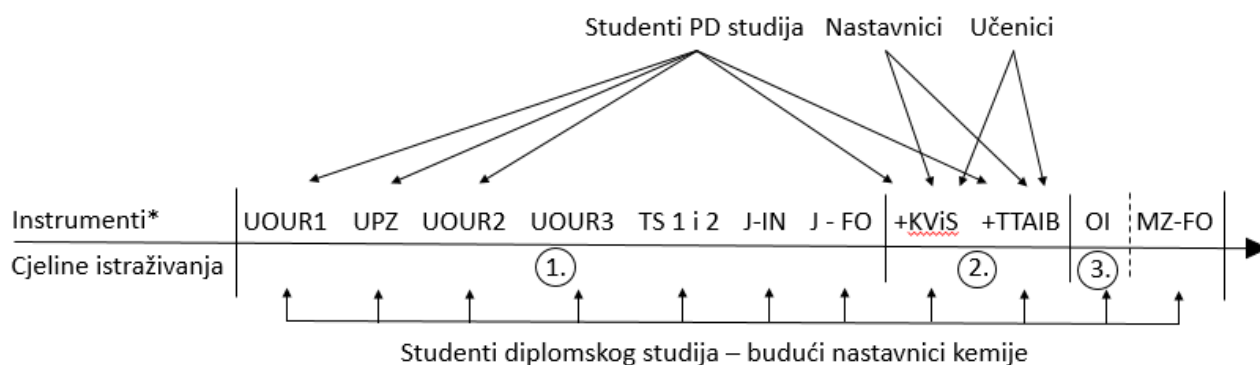
Tablica 3. Povezanost istraživačkih pitanja s postupcima i instrumentima prikupljanja podataka.

Cjelina istraživanja	Istraživačko pitanje	Postupak prikupljanja podataka	Instrument	Zadatci	
1. Jezik u učenju i poučavanju kemije	1. a	testiranje	UPZ	1. A blok; 1. B blok; 4. blok	
		testiranje	TA	svi	
	1. b	testiranje	UPZ	2. blok; 4. blok	
		2.	anketiranje	UOUR	Svi
	3.	intervjuiranje	intervju	jed. analize 3., 4. i 5.	
		intervjuiranje	fokusna grupa		
		anketiranje	UOUR	svi	
		intervjuiranje	UOUR	jed. analize 7.	
				fokusna grupa	
	4.	testiranje	TA	svi	
		testiranje	TB	svi	
	5.	testiranje	TA	svi	
		testiranje	TB	svi	
2. Razumijevanje kemijskog vezivanja	6.	testiranje	+KViS	svi	
		sustavno promatranje	OI, zapis istraživača		
	7.	sustavno promatranje	OI, transkript audio zapisa		
		testiranje	+KViS	svi	
		sustavno promatranje	OI, zapis istraživača		
		sustavno promatranje	OI, transkript audio zapisa		
3. Otvoreni intervju	8. a	sustavno promatranje	OI, zapis istraživača		
		sustavno promatranje	OI, transkript audio zapisa		
		intervjuiranje	MZ-FO		
	8. b	sustavno promatranje	OI, dnevnik rada	a	
		sustavno promatranje	OI, transkript audio zapisa		

	sustavno promatranje	OI, zapis istraživača	
	testiranje	OI, dnevnik rada	prosudba nakon OI-a
	testiranje	+KViS	svi
	testiranje	+TTAIB	svi
	intervjuiranje	fokusna grupa	
	intervjuiranje	MZ-FO	
8. c	sustavno promatranje	OI, dnevnik rada	b, c, d
	sustavno promatranje	OI, transkript audio zapisa	
	sustavno promatranje	OI, zapis istraživača	
	Intervjuiranje	fokusna grupa	
	Intervjuiranje	MZ-FO	

2.4. Nacrt istraživanja

U istraživanju su sudjelovali učenici, studenti preddiplomskih i diplomskog studija te srednjoškolski nastavnici kemije. Detaljnija povezanost sudionika, instrumenata i cjelina istraživanja prikazana je slikom 1.



Slika 1. Nacrt istraživanja (Značenje kratica vidljivo je iz tablice 2)

S obzirom na to da je istraživač nastavnik Metodike nastave kemije, a MZ tema nastavnog programa, studenti diplomskog studija nastavničkog smjera Biologija i kemija predstavljaju upravo onu populaciju koja: a) može biti neposredan izvor traženih spoznaja i b) stečene spoznaje treba ugraditi u vlastiti pristup poučavanju o kemijskom vezivanju. Stoga je odabran upravo taj, prigodni uzorak. Istraživanje je trajalo tri godine. Upitnike o razumijevanju modela

kovalentnog i ionskog vezivanja pokušalo se provesti na stratificiranim uzorcima učenika, studenata i nastavnika kemije.

2.5. Analiza podataka

U istraživanju su upotrijebljene kvantitativne i kvalitativne metode prikupljanja podataka. Kvantitativni su podatci analizirani statističkim programom SPSS (*Statistical Package for Social Science*; SPSS 13.0 za Windows, IBM, 2004). Vrijednosti numeričkih varijabli prikazane su aritmetičkom sredinom i standardnom devijacijom ($\bar{x} \pm sd$). Za testiranje razlika između dviju skupina ispitanika korišten je t -test kad je zavisna varijabla bila kontinuirana i χ^2 -test kod nominalnih varijabli. Za višestruke usporedbe između skupina upotrijebljena je neparametrijska inačica za više nezavisnih uzoraka, Kruskal-Wallisov test, odnosno Friedmanov test za više zavisnih uzoraka. McNemarovim testom utvrđivana je postojanost razlike statističke značajnosti između dva zavisna uzorka. Određivanje međusobne povezanosti podataka provedeno je, ovisno o njihovoj raspodjeli, Pearsonovim ili Spearmanovim koeficijentima korelacije. Jednostavnom linearnom kombinacijom formirane su nove varijable za testove o razumijevanju ionskog i kovalentnog vezivanja. Za ispitivanje statističke značajnosti razlika u prosječnom broju točnih odgovora prije i nakon intervencije korišten je t -test za zavisne uzorke.

Kvantitativni rezultati prikupljeni upitnicima iz prve i druge cjeline, osnaženi su, kroz detaljniji i slojevitiji opis izučavane spoznaje, rezultatima *Otvorenog intervjua* te dubinskih intervjua i fokusnih grupa. Za intervju i fokusnu grupu odabrani su sudionici koji su u kvalitativnom dijelu postigli različite rezultate. Kako bi bila osigurana valjanost kvalitativnih nalaza korištena je triangulacija kao tehnika za smanjivanje pristranosti odnosno povećanje valjanosti i pouzdanosti, i to triangulacija podacima (koji su dobiveni intervjuiranjem studenata, fokusnom grupom i upitnicima), triangulacija istraživača (uz autora i mentora, sudjelovala su dva nastavnika kemije i jedan iskusni istraživač) i triangulacija instrumentima (korištenjem različitih instrumenata – intervjua i upitnika).

2.6. Sudionici istraživanja

Kako je nacrtom predviđeno prikupljanje informacija o problemima koji se tiču različitih sudionika kemijskog obrazovanja, u njemu su sudjelovali učenici srednjih škola, nastavnici srednjih škola, studenti u čijim je programima kemija jedna od temeljnih komponenti – ponajprije studenti preddiplomskih studija Prirodoslovno-matematičkih fakulteta, i studenti

koji će završetkom diplomskog studija postati nastavnici kemije. Uzorak od primarnog interesa činili su budući nastavnici kemije, a podatci istraživanja s učenicima i nastavnicima prikupljeni su u cilju stjecanja šire slike o pojavnostima u cijelom obrazovnom sustavu. U nastavku će ukratko biti opisane skupine sudionika.

2.6.1. Studenti

S obzirom na adresiranost većine istraživačkih pitanja i dostupnost uzorka, u primarnom fokusu ovog istraživanja bili su studenti triju generacija (2012./2013., 2013./2014., 2014./2015.) diplomskog studija nastavničkog smjera Biologija i kemija, s Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (PMF) Sveučilišta u Splitu. Studenti koji su taj studij upisali u akademskoj godini 2012./2013. sudjelovali su u provedbi svih instrumenata. U prvoj i drugoj cjelini istraživanja sudjelovali su i studenti preddiplomskog studija Biologija i kemija, s istog fakulteta. Kako se program kolegija *Opća kemija* (u okviru kojeg se obrađuje tema o kemijskom vezivanju) na preddiplomskom studiju Nutricionizam bitno ne razlikuje od programa na preddiplomskom studiju Biologija i kemija, u istraživanje su uključeni i studenti tog studijskog smjera. Također, u dijelu istraživanja o razumijevanju modela kovalentne veze i ionskog vezivanja, sudjelovali su studenti preddiplomskih studija i integriranog nastavničkog studija Biologija i kemija s Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i studenti diplomskog studija nastavničkog smjera Kemija sa Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera iz Osijeka. S obzirom na to da je različiti broj studenata sudjelovao u različitim cjelinama istraživanja, numerički će se podatci o sudionicima iznijeti u svakoj cjelini ove disertacije zasebno.

2.6.2. Učenici

Učenici srednjih škola sudjelovali su u drugoj cjelini istraživanja. U studiju su uključeni gimnazijalci iz sve četiri regije Republike Hrvatske. Podatci o broju učenika po regijama navedeni su u poglavljima ove disertacije o razumijevanju modela ionskog vezivanja te modela kovalentne veze i struktura.

2.6.3. Nastavnici

Da bi se stekla spoznaja o razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja u cijelom obrazovnom sustavu, u istraživanje su uključeni i nastavnici kemije. S obzirom na to da se o kemijskom vezivanju uči u srednjoj školi, u istraživanju su sudjelovali samo srednjoškolski nastavnici kemije. Detaljnije informacije o nastavnicima navedene su u poglavlju o razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja.

2.7. Uloge istraživača

Autor ove disertacije imao je dvojaku ulogu. Bio je istraživač i predmetni nastavnik studentima diplomskog studija nastavničkog smjera Biologija i kemija na PMF-u u Splitu. Po tome, ova studija ima elemente akcijskog istraživanja. Dio istraživačkih aktivnosti sa studentima odrađen je u okviru kolegija *Metodika nastave kemije I* i *Metodika nastave kemije II*. Istraživačke aktivnosti provedene tijekom izvedbe kolegija komplementarne su s nastavnim programom, a korištene metode, poput *OZO* metode⁹ i metode *Otvorenog intervjua*, imale su i istraživački i nastavni karakter. Činjenica da nastavnik nije poučavao studente o problemu istraživanja već ih je instrumentarijem ovog istraživanja dovodio u situacije u kojima su iskazivali svoja promišljanja i stavove, te ih eventualno nadopunjavali ili mijenjali pod utjecajem argumentirane rasprave s kolegama ili uslijed osobnog suočavanja s problemima i pitanjima iz testova i upitnika, temelj je objektivnosti rezultata istraživanja.

2.8. Etička razmatranja

Istraživanje je organizirano i najvećim dijelom provedeno na PMF-u Splitu. Dio istraživanja proveden je u drugim fakultetskim ustanovama i srednjim školama. Sve je obavljeno u skladu s važećim pravilima i institucionalnim preporukama. Dozvolu za provedbu istraživanja izdalo je Etičko povjerenstvo Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Splitu (klasifikacijska oznaka 641-01/13-01/00009) i Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta (klasifikacijska oznaka: 602-01/14-01/00326). Dijagnostičke su instrumente popunjavali samo ispitanici koji su svojevolumeno sudjelovali u istraživanju. Posebna je pozornost pridana etičkom postupanju s učenicima. Svima je obznanjena mogućnost povlačenja iz istraživanja bez objašnjenja, ukoliko to požele. Anonimnost sudionika bila je zajamčena. Onima koji su sudjelovali u intervjuima i fokusnim grupama pridruženi su pseudonimi. Kako bi se minimizirao utjecaj istraživanja na slobodno vrijeme studenata kvalitativne su metode provedene u slobodnim terminima, unutar rasporeda predavanja.

U sljedećem su poglavlju prikazani i raspravljani rezultati istraživanja.

⁹ *OZO* metoda je metoda za istraživanje osviještenosti znanja o razumijevanju pojmova. Njezine značajke i učinci opisani su u 3. poglavlju.

REZULTATI I RASPRAVA

3. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom poglavlju prikazani su i raspravljani rezultati po cjelinama istraživanja. Prije pregleda rezultata, za svaki je istraživački problem navedeno relevantno istraživačko pitanje, opisan upotrijebljeni instrument te su pruženi podaci o sudionicima, prikupljanju podataka, analizi podataka i ograničenjima rezultata. Iako ovakva struktura poglavlja o rezultatima i raspravi nije uobičajena, u radu s velikim brojem instrumenata i specifičnih segmenata istraživanja, ona doprinosi razumljivosti i čitljivosti rada. Iz istih razloga i ideje o primjenjivosti rezultata, nakon pregleda rezultata i rasprave o pojedinom istraživačkom problemu, izdvojeni su najvažniji zaključci i razmotrene nastavne primjene.

3.1. Jezik u učenju i poučavanju kemije

U ovom dijelu disertacije govori se o pripremi, provedbi i rezultatima istraživanja kojim je utvrđivana (1) mjera u kojoj studenti Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Splitu poznaju značenja određenih tehničkih (znanstvenih) riječi, simbola i svakodnevnih riječi koje se koriste u nastavi kemije i (2) percepcija studenata o učeničkom razumijevanju tih pojmova. Također, (3) prikazano je i raspravljeno djelovanje OZO metode na osviještenost budućih nastavnika kemije o postojanju poteškoća razumijevanja riječi i simbola, zatim (4) elaborirana je sveza uspješnosti studenata u rješavanju određenih problema kemijskog vezivanja i poznavanja značenja ključnih pojmova te su (5) identificirane jezične poteškoće uporabom uparenog testa.

Slijedeći navedene teme, ovo je poglavlje organizirano u tri dijela, najvećim dijelom utemeljena na kvantitativnoj analizi: (a) Razumijevanje riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije, (b) Predodžbe studenata o učeničkom razumijevanju određenih riječi i simbola i (c) Sveza uspješnosti rješavanja problema kemijskog vezivanja i poznavanja značenja ključnih pojmova uz identifikaciju specifičnih jezičnih poteškoća.

Kako bi kvantitativni rezultati bili povezani i produbljeni spoznajama koje su prikupljene kvalitativnim instrumentarijem, poglavlje o jeziku zaključeno je četvrtim dijelom, (d), naslova *Razumijevanje riječi i simbola i svijest budućih nastavnika kemije o učeničkom znanju – kvalitativna analiza*.

Prije opisa navedenih dijelova ovog poglavlja o jeziku u učenju i poučavanju kemije, valja istaknuti da stečene spoznaje predstavljaju doprinos MZ-u autora kao nastavnika metodike nastave kemije, zatim MZ-u kemije kao profesije i to prvenstveno u segmentu Znanja o razumijevanju studenata (Magnunson i sur., 1999) i MZ-u studenata, posebice budućih nastavnika kemije.

3.1.1. Razumijevanje riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije

3.1.1.1. Istraživačko pitanje

U ovom odjeljku prikazane su značajke istraživanja kojim je utvrđeno studentsko razumijevanje odabranih riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije, odnosno u nastavi o kemijskom vezivanju. Stoga su postavljena sljedeća istraživačka pitanja:

U kojoj mjeri studenti (i) preddiplomskih studija i (ii) diplomskog studija Prirodoslovno-matematičkog fakulteta razumiju: (a) tehničke (znanstvene) riječi i simboličke prikaze koji se

koriste u učenju i poučavanju kemije i (b) svakodnevne riječi koje se koriste u učenju i poučavanju kemije?

3.1.1.2. Dijagnostički instrument

Kako bi se odgovorilo na istraživačko pitanje, upotrijebljen je *Upitnik poznavanja značenja odabranih pojmova*, UPZ (prilog 1). Tim je dijagnostičkim instrumentom tipa *olovka i papir*, na različite načine ispitivano studentsko poznavanje značenja raznovrsnih tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih hrvatskih riječi te simboličkih prikaza koji se koriste u nastavi kemije. UPZ se sastoji od četiri bloka zadataka, među kojima su blokovi 1, 2 i 4 relevantni za postavljeno istraživačko pitanje, pa su njihovi rezultati ovdje prikazani i raspravljani. Zadatci i rezultati bloka 3 ostali su van fokusa ove disertacije. U nastavku su navedene značajke 1., 2. i 4. bloka zadataka.

3.1.1.2.1. Prvi blok zadataka UPZ-a

Prvi se blok sastoji od dvije grupe zadataka, *A* i *B*. Grupu *A* čini 5 pojmova koji se uobičajeno koriste u nastavi kemije. Dani su bez konteksta. Ispitanici su trebali osmisliti rečenice u kojima će svaki od pojmova biti pravilno upotrijebljen. Cilj je bio spoznati hoće li studenti u znanstvenom kontekstu valjano upotrijebiti zadane pojmove, iako riječ *znanstveno* u tekstu zadatka nije eksplicitno navedena. Studenti nisu trebali definirati pojmove niti objasniti njihovo značenje. Štoviše, kako bi im bila omogućena potpuna sloboda u kreiranju rečenica, u formulaciji zadataka izbjegnute su fraze poput *Definiraj...* ili *Objasni značenje...* Također, cilj je bio saznati u kojem će kontekstu studenti upotrijebiti svaku od zadanih riječi.

Svaki je odgovor vrednovan i okarakteriziran kao *uspješan*, *djelomično uspješan* ili *neuspješan*. Procjenu je obavio autor ovog rada i kritička prijateljica (M. O.). U slučajevima nejednakih procjena, prosudbu bi argumentirano iznijela i druga kritička prijateljica, iskusna nastavnica kemije (M. L.).

B grupu prvog bloka zadataka čini šest riječi (*sila*, *formula*, *relativno*, *kristal*, *polumjer* i *spin*) koje se redovito koriste u nastavi kemije, a čije je značenje trebalo objasniti. Svaka riječ zadana je u znanstveno kontekstualiziranoj rečenici. Za razliku od ostalih, riječ *relativno* nije tehnički (znanstveni) pojam, iako se često koristi u znanstvenom kontekstu. Cilj je bio utvrditi kako će studenti objasniti značenje svake od šest ključnih riječi u kontekstu zadane rečenice. Prosudba odgovora *točan*, *djelomično točan* ili *netočan*, provedena je jednako kao i u *A* dijelu prvog bloka zadataka.

3.1.1.2.2. Drugi blok zadataka UPZ-a

Drugim blokom zadataka ispitivano je razumijevanje značenja svakodnevnih riječi koje se koriste u nastavi kemije u RH. Razmatrane su 32 riječi, a za svaku od njih osmišljen je po jedan zadatak višestrukog izbora. Za razliku od zadataka iz Prvog bloka, kojima se tražilo osmišljavanje rečenice sa zadanim pojmom i objašnjenje značenja pojma, u ovom dijelu istraživala se sposobnost (pre)poznavanja adekvatnog značenja ključne riječi. Svaki zadatak sastojao se od četiri tvrdnje. Cilj je bio utvrditi mogu li studenti prepoznati tvrdnju koja najbolje opisuje značenje ključne riječi.

Ovaj blok zadataka utemeljen je na radu Johnstona i Selepenga (2001). Iz njihova upitnika odabrane su one riječi koje su prijevodom na hrvatski jezik zadržale isti smisao i kontekstualnu valjanost. Njima je pridodana grupa riječi, za koje bi nastavnik kemije vjerojatno pretpostavio da učenici u potpunosti razumiju njihovo značenje. Svakoj riječi određeno je značenje prema Rječniku hrvatskoga jezika (Anić, 1991) ili Rječniku stranih riječi (Anić i sur., 2002). Popis riječi pripremljenih za uporabu u ovom bloku zadataka, podrijetlo i opisanost u rječnicima tablično je prikazan u Prilogu 2. Većina upotrijebljenih ključnih riječi redovito se koristi u svakodnevnom životu u RH i u nastavi kemije.

Temeljem značenja riječi, osmišljena su 32 zadatka višestrukog izbora kojima se provjeravalo njihovo razumijevanje. Rečenice u zadacima višestrukog izbora oblikovane su tako da odgovaraju hrvatskom kontekstu. Upotrijebljeni su oni ometači koji se nesigurnim studentima mogu činiti poželjnim izborom. Dva su dominantna svojstva razlog odabira i oblikovanja ometača: (a) opisivali su pogrešno svojstvo pojma ili fenomen koji se mogao činiti valjanim i (b) nalikovali su ključnoj riječi, ali su imali drugačije značenje. Popis ključnih riječi i ometača sadržaj je Priloga 3.

Prije upotrebe, osmišljene su zadatke, osim mentora i kritičkog prijatelja, vrednovala tri nastavnice kemije. Kako se uglavnom radilo o riječima koje imaju svakodnevno značenje, u sljedećem je koraku korigiranu bazu zadataka analiziralo šest učiteljica razredne nastave. Nakon usuglašavanja, 32 su zadataka pripremljena za uporabu. Ipak, kako bi se opseg UPZ-a sveo na prihvatljivu mjeru, u ovom je bloku upotrijebljeno 20 riječi, odnosno 20 zadataka.

Neki ključni pojmovi upotrijebljeni u 2. bloku UPZ-a nisu imali jednako značenje u znanstvenom i svakodnevnom kontekstu. Zadacima ovog dijela instrumenta ispitivalo se studentsko razumijevanje pojmova u svakodnevnom kontekstu.

3.1.1.2.3. Četvrti blok zadataka UPZ-a

Ovim dijelom instrumenta ispitivano je studentsko razumijevanje 20 pojmova i simbola koji se uobičajeno koriste u nastavi kemije. Od studenta se tražilo objašnjenje njihova značenja. Pojmovi i simboli dani su bez konteksta. Dodatno, studenti su trebali, na skali od 1 (potpuno siguran) do 5 (potpuno nesiguran), prosuditi sigurnost u točnost vlastitih objašnjenja.

Odgovori su vrednovani kao *točan*, *djelomično točan* ili *netočan*. Nedostatak odgovora smatran je pokazateljem nerazumijevanja.

3.1.1.3. Sudionici istraživanja

U istraživanju su sudjelovala 82 studenta preddiplomskog studija, velikom većinom upisanih na studij Biologija i kemija, i 36 studenata diplomskog studija, budućih nastavnika kemije. Svi su studenti Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Splitu.

3.1.1.4. Prikupljanje i analiza podataka

Instrument je upotrijebljen tijekom nastavnog vremena. Vrijeme popunjavanja nije bilo ograničeno. Studenti su sudjelovali dragovoljno i anonimno. Trebalo im je, uglavnom, oko 45 minuta da završe s radom. Prikupljeni su rezultati iskazani u postocima. Iako nije bio primarni cilj ove studije, uporabom hi-kvadrat testa provjeravana je statistička značajnost razlika rezultata preddiplomaca i diplomaca. Također, hi-kvadrat test je upotrijebljen za utvrđivanje eventualne statistički značajne razlike između iskaza sigurnosti studenata preddiplomskog i diplomskog studija u vlastite odgovore.

3.1.1.5. Ograničenja rezultata

Kako jezik kao medij nastave kemije može biti ometajući čimbenik razumijevanja (Louisa i sur., 1989), tako valja prihvatiti činjenicu da jezik kao medij za vrednovanje razumijevanja može uzrokovati neprecizne ili čak pogrešne dijagnoze. Takav zaključak, koji su potvrdili Clerka i Rutherforda (2000), ukazuje da je u procjeni studentskog razumijevanja, jezik čimbenik ograničene preciznosti. To je razlog zašto su u dijagnostičkom instrumentu upotrijebljeni različiti zadatci. Njima se pokušalo postići odgovarajući stupanj potvrde rezultata, iako je svaki pojam propitivan samo s jednim zadatkom.

3.1.1.6. Rezultati UPZ-a s raspravom

U ovom odjeljku prikazani su i raspravljani rezultati UPZ-a. Oni su, kao dio spoznaja stečenih provedbom ovog istraživanja, publicirani (Vladušić i sur., 2016a).

3.1.1.6.1. Rezultati prvog bloka zadataka UPZ-a

3.1.1.6.1.1. Rezultati A-dijela prvog bloka zadataka UPZ-a

A-dijelom prvog bloka zadataka propitivana je sposobnost osmišljavanja rečenica u kojima su ključne riječi upotrijebljene na znanstveno smislen način. Postotci studenata čiji su odgovori prosuđeni uspješnim, djelomično uspješnim ili neuspješnim, prikazani su u tablici 4. Broj neuspješnih uključuje i one studente koji nisu napisali rečenicu.

Tablica 4. Uspješnost kreiranja znanstveno smislenih rečenica sa zadanim pojmovima

		preddiplomci		diplomci	
		<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
Koeficijent	uspješno	26	31,7	17	47,2
	djelomično	8	9,8	2	5,6
	neuspješno	48	58,5	17	47,2
Množina	uspješno	48	58,5	22	61,1
	djelomično	7	8,5	2	5,6
	neuspješno	27	32,9	12	33,3
Analiza	uspješno	34	41,5	12	33,3
	djelomično	7	8,5	1	2,8
	neuspješno	41	50,0	23	63,9
Težište	uspješno	4	4,9	2	5,6
	djelomično	7	8,5	2	5,6
	neuspješno	71	86,6	32	88,9
Konformacija	uspješno	11	13,4	9	25,0
	djelomično	7	8,5	5	13,9
	neuspješno	64	78,0	22	61,1

(preddiplomci *N* = 82, diplomci *N* = 36)

Rezultati prikazani u tablici 4 pokazuju da mnogi studenti preddiplomskog i diplomskog studija nisu uspjeli osmisliti znanstveno smislenu rečenicu uporabom pojmova zadanih bez konteksta. Najuspješniji su bili (58,5 % i 61,1 %) u osmišljavanju rečenica s pojmom *množina*, a najmanje uspješni (samo 4,9 % i 6,1 %) u osmišljavanju rečenica koje uključuju pojam *težište*.

Analiza odgovora pokazuje da niska uspješnost nije primarno uzrokovana nesposobnošću kreiranja rečenice s ključnom riječi, već neuspjehom u kreiranju znanstveno smislene rečenice. Primjerice, samo jedan student nije napisao rečenicu koja uključuje riječ *analiza*. Međutim, među onima čija je rečenica vrednovana neuspješnom svi su ključnu riječ upotrijebili u svakodnevnom, a ne znanstvenom kontekstu. Izdvajamo dva primjera:

Analizirao sam situaciju kako bih je riješio na jednostavniji način.

Analiza ekonomskog stanja države je obavljena.

Najčešće upotrebljavani pojmovi u svakodnevnom značenju su *težište* (28 slučajeva) i *koeficijent* (22 slučaja).

U cilju sagledavanja uzroka ovakvih rezultata, treba naglasiti da uputa studentima nije sadržavala izričit naputak za osmišljavanjem znanstveno smislene rečenice. Smatrano je da kontekst dijagnostičkog instrumenta jasno ukazuje na takvo očekivanje. Možda je taj propust limitirajući čimbenik valjanosti ovog dijela instrumenta. Međutim, neki pokazatelji ne idu u prilog takvom zaključku. Primjerice, samo je troje studenata napisalo rečenice u kojima je riječ *množina* upotrijebljena u svakodnevnom kontekstu. *Množina* označava količinu predmeta, bića, pojmova ili pojava pa je bilo mogućnosti za osmišljavanje rečenice u kojoj ta riječ ima svakodnevno značenje. Stoga se može zaključiti da su značajke pojma, a ne izostanak riječi *znanstveno* u uputi A-dijela prvog bloka zadataka, utjecali na odluku studenata da osmisle, ili ne osmisle, znanstveno smislenu rečenicu.

Osim rečenica u kojima su ključne riječi imale svakodnevno ili trivijalno značenje, kao pogrešne klasificirane su i znanstveno netočne rečenice. Primjerice, *koeficijentu* je pridavano značenje *kvocijenta*; *množina* (tvari) je definirana kao omjer mase i molekulske mase (a ne Relativne molekulske mase); *konformacija* je opisivana kao transformacija između molekulskih oblika ili poistovjećivana s rezonantnim strukturama (npr. molekule benzena). Pojedini studenti su napisali da različiti organski spojevi imaju različite konformacije i time pokazali nerazlikovanje pojmova *spojevi* (odnosi se na tvari) i *molekule* (odnosi se na čestice). Mnogi su studenti *težište* poistovjetili s *težnjom*, dok su drugi *težište* opisali kao *dio u kojem je sva težina*.

Iako vrijednosti iz tablice 4 pokazuju da su diplomci u slučajevima svih riječi, osim riječi *analiza*, uspješniji od preddiplomaca, razlika u uspješnosti između dviju grupa ni u jednom slučaju nije statistički značajna.

3.1.1.6.1.2. Rezultati B-dijela prvog bloka zadataka

U B-dijelu prvog bloka zadataka, studenti su trebali izraziti značenje podcrtanih riječi u svakoj od šest rečenica. Rezultati klasifikacije studentskih odgovora, prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Postotci studenata s točnim, djelomično točnim i netočnim objašnjenjima ključnih pojmova iz zadanih rečenica.

		preddiplomci		diplomci	
		<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
Privlačne <u>sile</u> između molekula nazivamo van der Waalsovih silama.	točno	34	41,5	8	22,2
	djelomično	13	15,9	8	22,2
	netočno	35	42,7	20	55,6
<u>Formula</u> škroba nije jednostavna.	točno	14	17,1	4	11,1
	djelomično	21	25,6	13	36,1

	netočno	48	58,5	19	52,8
	točno	15	18,3	8	22,2
Elektronegativnost je <u>relativan</u> koncept.	djelomično	3	3,7	0	0,0
	netočno	64	78,0	28	77,8
Velik i lijepo oblikovan <u>kristal</u> rijetko možemo naći u prirodi.	točno	29	35,4	14	38,9
	djelomično	10	12,2	7	19,4
	netočno	43	52,4	15	41,7
Iako atom nema određene granice, često rabimo veličinu poznatu kao <u>polumjer</u> atoma.	točno	52	63,4	24	66,7
	djelomično	6	7,3	3	8,3
	netočno	24	29,3	9	25,0
U svaku orbitalu mogu se smjestiti dva elektrona suprotnog <u>spina</u> .	točno	2	2,4	0	0,0
	djelomično	56	68,3	13	36,1
	netočno	24	29,3	23	63,9

Rezultati pokazuju značajne poteškoće studenata u definiranju ključnih pojmova u zadanim kontekstima. *Radijus* je jedini pojam koji je uspješno objasnilo više od 50 % studenata. Najveći problem predstavljala je riječ *spin* – samo su dva studenta zadovoljavajuće objasnila taj pojam. Mali postotak studenata koji je ispravno objasnio značenje riječi *formula* (17,1 % i 11,1 %) i *kristal* (45,4 % i 38,9 %) posebno iznenađuje jer se radi o uvriježenim pojmovima. Više od $\frac{3}{4}$ preddiplomaca i diplomaca pogrešno je opisalo značenje pojma *relativno*. Iako ova riječ nije znanstveni koncept, često se koristi u znanstvenom jeziku. Primjerice, integralni je dio imena *relativna molekulska masa*. Možemo je upotrijebiti u komparaciji veličina gdje nije potrebna preciznost (Primjerice, *Koeficijent elektronegativnosti sumpora relativno je visok u odnosu na koeficijent elektronegativnosti litija* ili *Fluoridni ion je relativno malen u odnosu jodidni ion*) i drugim situacijama.

Na temelju netočnih objašnjenja uočen je problem koji je možda specifičan za hrvatski jezik. Dvije se riječi u RH, *polumjer* i *radijus*, simultano koriste za udaljenost od središta do točke na kružnici. Također, dvije se riječi, *promjer* i *dijametar*, upotrebljavaju za duljinu dužine koja prolazi kroz središte kružnice i čiji se krajevi nalaze na kružnici. S obzirom na to da je šest studenata *polumjer* opisalo kao *polovicu radijusa* proizlazi da pojedinci miješaju značenja spomenutih riječi.

Usporedba rezultata preddiplomaca i diplomaca pokazuje statistički značajnu razliku u slučaju riječi *spin*, odnosno rečenice *Svaka orbitala može primiti dva elektrona suprotnog spina* ($\chi^2 = 12,837$, $df = 2$, $p = 0,002$).

3.1.1.6.2. Rezultati drugog bloka zadataka UPZ-a

Rezultati studentskog poznavanja značenja 20 riječi koje se koriste u nastavi kemije i svakodnevnom životu, prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Broj i postotak studenata koji su prepoznali valjano značenje ključnih riječi u zadacima višestrukog izbora.

Ključna riječ	prediplomci		diplomci	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
derivat	71	85,5	30	83,3
modifikacija	24	29,3	12	34,3
karbonizacija	32	40,5	5	14,3
neutralizirati	32	39,5	15	41,7
ograničenje	71	85,5	33	91,7
efekt	41	50,6	19	52,8
simultano	54	69,2	33	91,7
konzistentan	55	70,5	30	83,3
postotak	31	37,4	15	41,7
dezintegrirati	70	87,5	34	94,4
formiranje	62	75,6	27	75,0
naboj	69	83,1	29	80,6
elementarno	73	88,0	30	83,3
proporcija	64	78,1	26	72,2
planarni	44	54,3	23	63,9
frakcija	26	31,3	16	47,1
sublimirati	54	65,9	29	80,6
generalizacija	56	70,9	30	83,3
permanentni	41	52,6	16	47,1
donirati	81	98,8	36	100,0

Većina studenata pokazala je razumijevanje značenja pojmova *donirati* (99 % i 100 %), *dezintegrirati* (88 % i 94 %), *ograničenje* (86 % i 92 %), *derivat* (86 % i 83 %), *elementarno* (88 % i 83 %) i *naboj* (83 % i 81 %). Međutim, rezultati pokazuju da značajan broj studenata ne razumije značenje određenih riječi. Toj skupini riječi pripadaju: *karbonizacija* (41 % i 14 %), *modifikacija* (29 % i 34 %), *postotak* (27 % i 42 %) i *neutralizirati* (40 % i 42 %). S obzirom na učestalost korištenja tih pojmova u nastavi kemije, rezultati njihova razumijevanja u danim kontekstima zabrinjavaju i nešto su čega nastavnici kemije trebaju biti svjesni.

Upotrebom hi-kvadrat testa utvrđena je statistički značajna razlika u rezultatima studenata preddiplomskih i diplomskog studija za pojam *karbonizacija* ($\chi^2 = 7.607$, $df = 1$, $p = 0.006$), kojeg su bolje razumjeli preddiplomci, i pojam *simultano* ($\chi^2 = 6.860$, $df = 1$, $p = 0.009$), čije su značenje bolje odredili studenti diplomskog studija.

Podrobnije su analizirani odgovori na 7. zadatak kojim je provjeravano poznavanje značenja riječi *simultano*. U tablici 7 prikazani su ometači i raspodjela studentskih odabira.

Tablica 7. Postotci točnih odgovora preddiplomaca i diplomaca u 7. zadatku kojim je ispitivano razumijevanje riječi *simultano*

U kojoj je rečenici riječ <i>simultano</i> smisleno upotrijebljena?	preddiplomci		diplomci	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
1. Simultano ponašanje odlika je paličnjaka – toliko su nalik grančicama da su nezamjetni.	13	16,7	2	5,6
2. Baš zato što je drugačiji, njen je naglasak zvučao simultano.	3	3,8	1	2,8
3. Detaljno proučivši lice u zrcalu, zaključila je da se lijeva i desna polovica ipak ne odnose simultano.	8	10,3	0	0,0
4. Dvije eksplozije su aktivirane simultano pa zvučahu kao jedna.	54	69,2	33	91,7
Ukupno	78	100,0	36	100,0

Osim razlike u postotcima uspješnih studenata iz obje grupa, iz tablice 7 može se iščitati i razlika u postotcima preddiplomaca i diplomaca koji su 1. i 3. tvrdnju iz 7. zadatka procijenili valjanima. Takav rezultat ukazuje da dijelu studenata *simultano* znači slično ili simetrično.

U kemijskom se kontekstu glagol *neutralizirati* odnosi na proces u kojem kiselina reagira s bazom. Univerzalno značenje tog pojma jest poništavanje nekog svojstva. U četvrtom zadatku oko 40 % studenata tvrdnju 3 (*Nuspojave smo mogli neutralizirati novim lijekom*) ispravno je procijenilo točnom (tablica 8). Veći je postotak studenata (41,7 % i 46,9 %) odabrao tvrdnju 1 prema kojoj će slana otopina neutralizirati slatku. Sudeći po tom rezultatu, značajan broj studenata slanost i slatkoću doživljava suprotnim krajnostima istog svojstva.

Tablica 8. Postotci odgovora preddiplomaca i diplomaca na 4. zadatak kojim je ispitivano razumijevanje riječi *neutralizirati*

U kojoj je rečenici riječ <i>neutralizirati</i> ispravno upotrijebljena?	preddiplomci		diplomci	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
1. Slana će otopina neutralizirati slatku.	38	46,9	15	41,7
2. Moja petica iz znanja neutralizirat će trojku iz zalaganja.	4	4,9	5	13,9
3. Nuspojave smo mogli neutralizirati novim lijekom.	32	39,5	15	41,7
4. Moja petica iz zalaganja neutralizirat će trojku iz znanja.	7	8,6	1	2,8
Ukupno	81	100,0	36	100,0

Riječ *frakcija* u hrvatskom jeziku označava skup članova neke stranke ili grupe ljudi koji se s ostalima razilaze u mišljenju, zaključcima ili stajalištu. Takvo je značenje, naime, pridano ispravnoj tvrdnji u zadatku višestrukog izbora. Međutim, to nije jedino značenje te riječi. U matematici, primjerice, *frakcija* označava razlomak, a u kemiji tvar izdvojenu taloženjem, kristalizacijom, (frakcijskom) destilacijom i sl. Ipak, korijen svih ovih značenja je isti: *frakcija* predstavlja izdvojeni dio cjeline.

Najsmisleniju tvrdnju (3) u 16. zadatku, u kojoj je riječ *frakcija* upotrijebljena u kontekstu političke stranke, ispravnom je prosudilo svega 36 % studenata. Gotovo svi ostali odabrali su tvrdnju 1 pogrešno vjerujući da *frakcija* znači *fraktura*. Ovaj je slučaj još jedan primjer konfuzije riječima slične zvučnosti, ali različitog značenja.

U 9. zadatku ključna riječ je *postotak*. Tehnički ispravnu definiciju postotka prepoznalo je samo 40 % studenata. Čak 47,1 % studenata odabralo je tvrdnju 4, prema kojoj postotak predstavlja *volumni udio ulja u maslinama*, iako u zadatku nema dovoljno elemenata za takav zaključak. Oko 5 % studenta misli da *izračunat postotak ulja u maslinama* znači utvrđenost *prosječnog uroda maslina*. Time su studenti pokazali nerazumijevanje pojmova *postotak* i *prosjek*. Nizak postotak uspješnih u prepoznavanju značenja riječi *postotak*, vjerojatno je uzrokovan sofisticiranom definicijom tog pojma koju je, možda, bilo teško interpretirati.

Pojam *karbonizacija*, razmatan u 3. zadatku, predstavlja zanimljiv jezični problem. U kemiji, karbonizacija označava proces razgradnje organskih tvari kojim nastaje ugljen. Svakodnevno značenje pridano ovom pojmu, i upotrijebljeno u tvrdnji 1, preuzeto je s etiketa vode obogaćene ugljikovim(IV) oksidom na kojima piše *karbonizirana voda (gazirana voda)*. Radi se o pogrešnoj uporabi pojma *karbonizacija*, odnosno pridjeva izvedenog iz te riječi, koji se uvriježio. Ispravniji naziv za *karboniziranu vodu* bio bi *karbonirana voda*, ali takav termin prije provedbe istraživanja nije pronađen u rječnicima hrvatskog jezika.

Najbolji odgovor u 3. zadatku, tvrdnju 1, odabrao je znatno veći postotak studenata preddiplomskog studija (40,5 %) nego studenata diplomskog studija (14,3 %). Rezultati referentni za svaku tvrdnju 3. zadatka, prikazani su u tablici 9.

Tablica 9. Postotci odgovora preddiplomaca i diplomaca po tvrdnjama 3. zadatka kojim se ispitivalo razumijevanje riječi *karbonizacija*.

U kojoj je rečenici riječ karbonizacija smisleno upotrijebljena?	preddiplomci		diplomci	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
1. Karbonizacija je nužan proces u nastanku gazirane vode.	32	40,5	5	14,3
2. Karbonizacija drveta bijaše tolikih razmjera da je plamen zahvatio zavjese u kući.	6	7,6	9	25,7
3. Karbonizacija šećera temelj je proizvodnje slasnih šećernih ukrasa za svadbene torte.	29	36,7	16	45,7
4. Karbonizacijom bijelog brašna pod visokim tlakom nastaje ljepilo.	12	15,2	5	14,3
Ukupno	79	100,0	35	100,0

Iz tablice 9 vidljivo je da mnogo veći broj diplomaca (18 % više nego preddiplomaca) ispravnim odabirom smatra tvrdnju 2. Iako pojam *karbonizacija* u toj tvrdnji nije pravilno upotrijebljen, rezultat indicira njegovo razmatranje u kemijskom kontekstu. Pretpostavljajući šire znanje i specijalizaciju studenata diplomskog studija (*karbonizacija* je pojam iz nastavnog programa kemije osnovnih i srednjih škola), ovakav nalaz ne iznenađuje. U usporedbi s preddiplomcima, 9% više je diplomaca tvrdnju 3 prosudilo najsmislenijom, vjerojatno miješajući značenje pojma *karbonizacija* s pojmom *karamelizacija*.

3.1.1.6.3. Rezultati četvrtog bloka zadataka UPZ-a

Ovaj se blok zadataka sastoji od 20 pojmova i simbola. Studenti su ih trebali (sažeto) objasniti i, na Likertovoj skali, procijeniti sigurnost u točnost svojih objašnjenja. Rezultati su radi preglednosti prikazani u dvjema tablicama: u tablici 10 prikazani su rezultati razumijevanja riječi, a u tablici 11 simbola. Na toj skali vrijednost 1 označava *potpunu sigurnost*, a vrijednost 5, *potpunu nesigurnost* u točnost svoga objašnjenja.

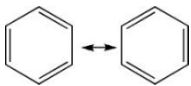
Tablica 10. Postotak preddiplomaca i diplomaca koji su pokazali razumijevanje pojmova iskazanih riječima. Za svaki pojam, srednja vrijednost odgovora na Likertovoj skali samopouzdanja dana je za uspješne, djelomično uspješne i neuspješne studente s preddiplomske i diplomske razine.

		preddiplomci				diplomci			
		<i>N</i>		samopuzdanje		<i>N</i>		samopuzdanje	
				%	as			sd	%
korpuskularno	točno	2	2,4	3,50	2,121	5	13,9	2,60	2,191
	djelomično	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-
	netočno	14	17,1	3,57	1,453	11	30,6	3,91	1,044
	b.o.	66	80,5	-	-	20	55,6	-	-
nukleonski broj	točno	31	37,8	1,61	1,145	23	63,9	2,00	1,314
	djelomično	16	19,5	1,19	0,403	1	2,8	3,00	0,000
	netočno	27	32,9	2,00	1,544	10	27,8	2,30	1,252
	b.o.	8	9,8	-	-	2	5,6	-	-
propan-1,2,3-triol	točno	5	6,1	1,60	1,342	8	22,2	2,13	1,808
	djelomično	32	39,0	1,81	1,061	18	50,0	2,00	1,138
	netočno	26	31,7	2,35	1,441	8	22,2	2,38	0,916
	b.o.	19	23,2	-	-	2	5,6	-	-
interakcija	točno	41	50,0	1,59	1,224	19	52,8	2,05	1,268
	djelomično	3	3,7	1,67	1,155	1	2,8	1,00	0,000
	netočno	31	37,8	2,19	1,424	15	41,7	2,40	1,183
	b.o.	7	8,5	-	-	1	2,8	-	-
energija	točno	16	19,5	1,94	1,611	5	13,9	3,40	1,817
	djelomično	7	8,5	1,71	0,951	1	2,8	3,00	0,000
	netočno	34	41,5	2,26	1,333	15	41,7	2,47	1,060
	b.o.	25	30,5	-	-	15	41,7	-	-
otopina	točno	12	14,6	1,33	0,651	10	27,8	1,90	1,663
	djelomično	21	25,6	1,86	1,526	11	30,6	1,45	0,934
	netočno	39	47,6	1,79	1,196	14	38,9	1,93	1,207
	b.o.	10	12,2	-	-	1	2,8	-	-
orbitala	točno	1	1,2	1,00	0,000	3	8,3	1,67	1,155
	djelomično	20	24,4	1,65	1,226	4	11,1	2,75	0,957
	netočno	42	51,2	2,24	1,122	25	69,4	2,52	1,194
	b.o.	19	23,2	-	-	4	11,1	-	-
interpretacija	točno	37	45,1	2,16	1,259	27	75,0	2,48	1,014
	djelomično	2	2,4	2,50	2,121	2	5,6	1,50	0,707
	netočno	27	32,9	1,74	0,859	3	8,3	2,00	1,000
	b.o.	16	19,5	-	-	4	11,1	-	-
valentni elektroni	točno	29	35,4	1,76	1,431	24	66,7	2,12	1,191
	djelomično	37	45,1	1,62	1,063	6	16,7	2,33	0,516
	netočno	4	4,9	2,00	1,155	3	8,3	3,00	1,000
	b.o.	12	14,6	-	-	3	8,3	-	-
ionska veza	točno	1	1,2	1,00	0,000	0	0,0	-	-
	djelomično	62	75,6	1,56	1,223	29	80,6	2,24	1,215
	netočno	10	12,2	2,20	1,476	5	13,9	2,20	1,095
	b.o.	9	11,0	-	-	2	5,6	-	-
rezonancija	točno	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-
	djelomično	8	9,8	1,75	0,886	2	5,6	3,00	0,000
	netočno	48	58,5	2,42	1,350	20	55,6	2,80	1,322
	b.o.	26	31,7	-	-	14	38,9	-	-

Tablica 10. Postotak preddiplomaca i diplomaca koji su pokazali razumijevanje pojmova iskazanih riječima.(nastavak)

		preddiplomci				diplomci			
		samopouzdanje				samopouzdanje			
		N	%	as	sd	N	%	as	sd
nabojni broj	točno	0	0,0	-	-	1	2,8	5,00	0,000
	djelomično	17	20,7	1,88	1,054	9	25,0	2,44	1,424
	netočno	39	47,6	2,05	1,234	23	63,9	2,61	1,406
	b.o.	26	31,7	-	-	3	8,3	-	-
trigonska bipiramida	točno	0	0,0	-	-	1	2,8	2,00	0,000
	djelomično	13	15,9	1,85	1,068	6	16,7	3,17	1,329
	netočno	32	39,0	2,50	1,414	7	19,4	4,14	1,215
	b.o.	37	45,1	-	-	22	61,1	-	-
redukcijski potencijal	točno	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-
	djelomično	11	13,4	2,64	1,027	15	41,7	2,60	1,183
	netočno	32	39,0	2,59	1,188	12	33,3	3,08	1,240
	b.o.	39	47,6	-	-	9	25,0	-	-

Tablica 11. Postotak preddiplomaca i diplomaca koji su pokazali razumijevanje simboličkih pojmova i vrijednosti njihova samopouzdanja u točnost odgovora.

		preddiplomci				diplomci			
		samopouzdanje				samopouzdanje			
		N	%	as	sd	N	%	as	sd
CuSO ₄ · 5H ₂ O(s)	točno	72	87,8	1,43	1,208	21	58,3	1,86	1,493
	djelomično	2	2,4	1,50	0,707	13	36,1	1,77	1,363
	netočno	3	3,7	1,67	1,155	2	5,6	2,50	2,121
	b.o.	5	6,1	-	-	0	0,0	-	-
<	točno	69	84,1	1,56	1,343	32	88,9	1,81	1,533
	djelomično	0	0,0	-	-	0	0,0	-	-
	netočno	9	11,0	1,11	0,333	2	5,6	1,00	0,000
	b.o.	4	4,9	-	-	2	5,6	-	-
	točno	27	32,9	1,52	1,189	13	36,1	2,15	1,281
	djelomično	32	39,0	1,78	1,313	8	22,2	1,88	0,991
	netočno	16	19,5	2,25	1,438	9	25,0	2,56	1,424
	b.o.	7	8,5	-	-	6	16,7	-	-
μ	točno	53	64,6	1,60	1,182	20	55,6	2,00	1,026
	djelomično	6	7,3	2,33	2,066	1	2,8	5,00	0,000
	netočno	8	9,8	3,00	1,927	9	25,0	2,33	1,000
	b.o.	15	18,3	-	-	6	16,7	-	-
kg/m ³	točno	55	67,1	1,53	1,136	25	69,4	2,00	1,291
	djelomično	9	11,0	1,56	1,130	6	16,7	2,67	1,966
	netočno	6	7,3	2,00	1,414	3	8,3	2,00	1,732
	b.o.	12	14,6	-	-	2	5,6	-	-
A = N(p ⁺) + N(n ⁰)	točno	51	62,2	1,39	1,115	23	63,9	1,96	1,461
	djelomično	8	9,8	2,00	1,852	3	8,3	2,67	1,528
	netočno	11	13,4	2,64	1,629	8	22,2	2,50	1,309
	b.o.	12	14,6	-	-	2	5,6	-	-

Od 13 tehničkih (znanstvenih) pojmova, tri je najbolje objasnila većina studenata. To su *maseni broj* (37,8 % preddiplomaca, 63,9 % diplomaca), *valentni elektroni* (35,4 %, 66,7 %) i *interakcija* (50,0 % i 52,8 %). Čak i u navedenim slučajevima, rezultati upozoravaju da se od budućih nastavnika kemije u RH ne može očekivati puno razumijevanje odnosno sposobnost kvalitetnog objašnjavanja zadanih pojmova. Problem je još izraženiji na preddiplomskoj razini.

Mali postotak studenata pokazao je sposobnost prikladnog objašnjavanja značenja većine pojmova. To uključuje pojmove *rezonancija* (0 %, 0 %), *redukcijski potencijal* (1,2 %, 0 %), *nabojni broj* (0 %, 2,8 %), *trigonska bipiramida* (0 %, 2,8 %), *orbitala* (1,2 %, 8,3 %) i *korpuskularno* (2,4 % i 8,3 %). Možda se navedeni pojmovi odnose na vrlo apstraktne koncepte, međutim, tek umjeren postotak studenata uspješno je objasnio konkretnije ili eventualno uvržene pojmove, *propan-1,2,3-triol*, *energija i otopina* te prikaz rezonantnih struktura molekule benzena.

Manje od polovice preddiplomaca uspjelo je objasniti značenje riječi *interpretacija*, koja se često koristi u neznastvenim i znanstvenim područjima. Znatno veći postotak studenata diplomskog studija poznaje značenje ovog pojma. Zanimljivo je da su preddiplomci i diplomci neuspješni u objašnjavanju značenja riječi *interpretacija* iskazali veću sigurnost u točnost svojih odgovora od studenata koji su točno objasnili značenje tog pojma.

Općenito gledajući, više studenata uspješno je objasnilo značenje simboličkih pojmova nego pojmova iskazanih riječima. Najveći je broj studenata pokazao razumijevanje značenja simbola *manje od*, $<$ (84,1 % i 88,9 %). Možda iznenađujuće, značenje formule bakrova(II) sulfata pentahidrata objasnilo je 87,8 % preddiplomaca i, samo, 58,3 % diplomaca. Podatci o 55 % – 70 % studenata koji su korektno objasnili značenje simbola μ , kg/m^3 i $A = N(p^+) + N(n^0)$ govore o umjerenom broju uspješnih, ali i o 30 % – 45 % onih koji možda neće razumjeti značenje tih pojmova kada ih upotrijebi nastavnik ili kada na njih naiđu u udžbeniku.

Statistički značajna razlika između rezultata preddiplomaca i diplomaca, utvrđena je za sedam pojmova. Studenti diplomskog studija pokazali su statistički značajno bolje razumijevanje pojmova *propan-1,2,3-triol* ($\chi^2 = 6,009$, $df = 2$, $p = 0,050$), nukleonski broj ($\chi^2 = 8,596$, $df = 2$, $p = 0,014$), *orbitala* ($\chi^2 = 6,563$, $df = 2$, $p = 0,038$), *interpretacija* ($\chi^2 = 10,194$, $df = 2$, $p = 0,006$), *valentni elektroni* ($\chi^2 = 11,105$, $df = 2$, $p = 0,004$) i *redukcija* ($\chi^2 = 6,383$, $df = 2$, $p = 0,012$). Studenti preddiplomskog studija su statistički značajno uspješnije objasnili značenje izraza $CuSO_4 \cdot 5H_2O(s)$ ($\chi^2 = 26,380$, $df = 2$, $p < 0,000$).

S obzirom na podatke o studentskoj procjeni sigurnosti u točnost vlastitih odgovora, za sve pojmove, bez obzira jesu li točno, djelomično točno ili netočno objašnjeni, preddiplomci su pokazali barem onoliko pouzdanja u svoje razumijevanje, koliko i diplomci. Ovo se opažanje odnosi i na one pojmove (odnosno, većinu njih) koje su studenti diplomskog studija bolje objasnili od kolega s preddiplomske razine. Iznimka je termin *korpuskularno*, čije su razumijevanje preddiplomci iskazali s najmanje samopouzdanja. Takav je nalaz koherentan s činjenicom da 80 % njih nije niti pokušalo objasniti značenje tog pojma.

Za devet je termina, postotak studenata preddiplomskog studija koji su iskazali *potpunu sigurnost* bio statistički značajno veći od postotka studenata diplomskog studija s istom samoprocjenom sigurnosti. To su: *nukleonski broj* ($\chi^2 = 16,045$, $df = 4$, $p = 0,003$); *interakcija* ($\chi^2 = 9,818$, $df = 4$, $p = 0,044$); *valentni elektroni* ($\chi^2 = 17,443$, $df = 4$, $p = 0,002$); *ionska veza* ($\chi^2 = 15,028$, $df = 4$, $p = 0,005$); *CuSO₄ · 5H₂O(s)* ($\chi^2 = 11,679$, $df = 4$, $p = 0,020$); *rezonantne strukture benzena* ($\chi^2 = 11,503$, $df = 4$, $p = 0,021$); μ ($\chi^2 = 18,713$, $df = 4$, $p = 0,001$); *kg/m³* ($\chi^2 = 9,650$, $df = 4$, $p = 0,047$) i $A = N(p^+) + N(n^0)$ ($\chi^2 = 11,806$, $df = 4$, $p = 0,019$).

Ovi se rezultati mogu dovesti u vezu s Dunning-Krugerovim efektom, o kojemu su izvijestili Pazicni i Bauer (2014), a prema kojem slabiji studenti precjenjuju svoja postignuća dok bolji studenti svoja podcjenjuju. *Iluzija kompetentnosti*, koju iskazuju manje sposobni studenti, pripisuje se njihovoj nemogućnosti prepoznavanja vlastitih pogrešaka. Drugim riječima, čini se da niske razine spoznaje prate i niske razine metaspoznaje. Treba napomenuti da su u ovom istraživanju prikazani i uspoređeni rezultati ispitanika s različitih studijskih razina, a ne rezultati uspješnih i slabije uspješnih studenata. U skladu s tim, od diplomaca se može očekivati šire znanje, ali ono može varirati, neovisno o razini studija, od studenta do studenta.

3.1.1.7. Zaključak

Studenti uključeni u ovo istraživanje nisu iskazali zadovoljavajuće poznavanje značenja tehničkih (znanstvenih) pojmova, simboličkih prikaza i svakodnevnih riječi koje se koriste u poučavanju i učenju kemije. Utvrđene su značajne razlike u izostanku razumijevanja, od riječi do riječi i od simbola do simbola. Pokazatelji nerazumijevanja pronađeni su neovisno o tome je li dizajn zadatka uključivao: (i) osmišljavanje znanstveno smislene rečenice uz uporabu ključnog pojma danog bez konteksta, kao u *A*-dijelu prvog bloka zadataka, (ii) objašnjenje značenja riječi dane u određenom kontekstu, kao u *B*-dijelu prvog bloka zadataka, (iii) odabir prikladno upotrijebljenog termina u zadatku višestrukog izbora, kao u drugom bloku zadataka, ili (iv) objašnjenje značenja pojma danog bez konteksta, kao u četvrtom bloku zadataka. Iako

isti termini nisu testirani različitim tipovima zadataka, rezultati ove triangulirane metodologije pružaju uvjerljivu potvrdu o širokoj zastupljenosti problema slabog razumijevanja zadanih pojmova.

3.1.1.8. Implikacije za nastavu

Autor je ovo istraživanje proveo jer je, kao nastavnik kemije i metodike nastave kemije, bio zainteresiran otkriti postoje li u RH problemi nerazumijevanja jezika, slični onima koji su utvrđeni u državama s engleskog govornog područja. Autor nije jezikoslovac. Stoga ovaj dio istraživanja nema analitički već dijagnostički karakter. Ne može se osloniti na lingvističko znanje kako bi dao preporuke za djelovanje. Umjesto toga, razborito će biti analizirane implikacije dobivenih rezultata. Također, poslužit će se preporukama drugih znanstvenika koji su istraživali ovo područje.

Prvo, potvrđeno je, kao i u istraživanju Louisa (1989), da se u nastavi općenito ne može izbjeći upotreba svakodnevnog jezika koji je učenicima i studentima blizak. Prepoznavanje situacija u kojima takva uporaba može interferirati s poželjnim i nepoželjnim efektima učenja, dio je MZ-a. U tom su kontekstu rezultati ovog istraživanja doprinos porastu MZ-a kemije. Pyburn i sur. (2013) predlažu uključivanje konkretnih aktivnosti za razvoj jezičnih sposobnosti u nastavu kemije. Naravno, ovakav prijedlog otvara pitanja o dizajnu takve, integracijske nastave. Cassels i Johnstone (1980) sugeriraju da značenje riječi s različitim značenjem, riječi koje slično zvuče i riječi sa sličnim značenjem s učenicima treba eksplicitno raspraviti. Također, kako bi se omogućio postupan odmak od svakodnevnog jezika, predložili su da se učenicima omogući izražavanje značenja znanstvenih termina svojim riječima. Taskin i Bernholt (2014) predlažu uporabu reflektivnih zadataka kojima će se od učenika tražiti promišljanje i komuniciranje ne samo o njihovom konceptualnom razumijevanju već i o njihovom razumijevanju upotrijebljenog jezika. Naravno, eventualna preraspodjela nastavnog vremena potrebna za implementaciju navedenih preporuka na štetu opsega kemijskog sadržaja, može zabrinuti neke nastavnike. Međutim, gubitak mogućnosti rada na dijelu kemijskog sadržaja bit će nadoknađen dobitkom u vidu boljeg razumijevanja, uslijed većih jezičnih kompetencija.

Rezultati ove studije pokazuju da ono što vrijedi za učenike, vrijedi i za studente. Problemi nepoznavanja značenja znanstvenih, pa i svakodnevnih pojmova koji se koriste u nastavi kemije, makar bili posljedica trenutne zbunjenosti ili nedovoljno razvijenih sposobnosti izražavanja, upućuju na potrebu *semantičkih* intervencija u nastavu kemije i metodike nastave

kemije, posebice u kurikulumu za buduće nastavnike kemije. To, između ostalog, mogu biti interaktivne razredne ili grupne rasprave u kojima se argumenti i refleksija koriste za poboljšanje razumijevanja jezika nastave kemije. U takvim se aktivnostima naglasak može pridati specifičnim detaljima, kao što su:

- razlikovanje značenja sličnih riječi, kao što su *težište* i *težnja*;
- razlikovanje znanstvenih riječi koje naizgled imaju isto ili slično značenje, kao što su *proporcija (srazmjer)* i *omjer*;
- razjašnjenje znanstvenog i svakodnevnog značenja određenih riječi, kao što su *redukcija*, *disperzija* (primjerice, u kontekstu disperzijskih sila), *dijeljenje* (primjerice, u kontekstu dijeljenja zajedničkog elektronskog para) i *(pre)zasićenost*;
- razlikovanje značenja simbola koji se lako mogu zamijeniti jedni s drugima, kao što su različite vrste strelica koje se koriste u kemiji;
- razjašnjenje raznovrsnih značenja koje neki broj (primjerice, broj 2) može imati u jednadžbi kemijske reakcije (primjerice, broj 2 u izrazu $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NH}_3(\text{g})$ ima različite konotacije);
- uočavanje da se određene riječi odnose na različite razine *kemijskog tripleta*, kao što su *(kemijski) spoj* i *molekula*;
- pridavanje pozornosti *nivoima konfuzije* dodjeljivanjem značajki koje se odnose na jednu razinu, drugoj razini *kemijskog tripleta*, kao što je slučaj kada kovkost bakra, primjerice, prikazujemo kao kovkost bakrovih atoma ili kao u besmislenoj rečenici, kakve se ponekad mogu naći i u udžbeničkim zadacima: *Koja od sljedećih molekula ima najveću površinsku napetost?*

Evidentirani problem nerazumijevanja značenja riječi i simbola, nedvojbeno se reflektira na probleme konceptualnog razumijevanja. Stoga se opravdanim čini uključivanje *jezičnih* zadataka u instrumente procjene kvalitete znanja, barem kada je riječ o formativnom vrednovanju. Stoga su neka pitanja korištena u instrumentu ovog istraživanja, dobri i primjenjivi primjeri prikladnih zadataka. Rezultati takvog vrednovanja mogu biti središnje točke reflektivnih rasprava o jeziku nastave kemije, o kojima je ranije pisano.

U ovoj raspravi, do sada, prešutno je pretpostavljen simultani razvoj jezičnog i konceptualnog razumijevanja. Song i Carheden (2014) su preprekom razumijevanju prepoznali termine čije se svakodnevno značenje razlikuje od značenja u znanstvenom kontekstu. S obzirom na to da učenici sa sobom *donose* znanje o svakodnevnom značenju tih termina, navedeni su autori predložili i analizirali pristup po kojemu nastavnici i učenici prije učenja znanstvenog

vokabulara izgrađuju znanje o sadržaju predmeta uporabom svakodnevnog jezika. Primjerice, u kontekstu poučavanja temeljnih znanstvenih ideja o fotosintezi, Brown i Ryoo (2008) su utvrdili da učenici pokazuju bolje dugoročno znanje i imaju širi vokabular kad se znanstveno značenje, prije poučavanja znanstvenom terminologijom, upoznaje korištenjem svakodnevnog jezika. Ta je spoznaja rezultirala modelom *razdvojene nastave* (engl. *Disaggregate instruction model*) u kojoj se konceptualni i jezični dio znanstvene teme poučavaju odvojeno (Brown i sur., 2010).

Kao što su Song i Carheden (2014) primijetili, istraživanja o učeničkim i studentskim postignućima u razumijevanju jezika znanosti, još su u ranoj fazi. Buduća će istraživanja pokazati kako efikasnije poučavati i učiti o jeziku. Dodatni će izazov predstavljati put spoznaja od istraživačkih rezultata do MZ-a nastavnika, odnosno oblici profesionalnog usavršavanja kojima će se to ostvariti. Uistinu, kako će nastavnici kemije povećati MZ, ključno je pitanje na koje treba odgovoriti. Dosadašnja iskustva ukazuju da su predavanja na konferencijama i simpoziji o jeziku u kemijskom obrazovanju, dominantno posvećeni prepoznavanju općih problema, a ne opisu i analizi specifičnih poteškoća i smjernicama za njihovo rješavanje. U RH, problem nerazumijevanja jezika, u najboljem slučaju, ima zanemarivu ulogu u profesionalnom razvoju nastavnika kemije. Za očekivati je da će ovo istraživanje osnažiti svijest o nužnosti promjene takve prakse.

3.1.2. Predodžbe studenata o učeničkom razumijevanju riječi i simbola

3.1.2.1. Istraživačko pitanje

Prema Magnusonu i sur. (1999), jedna od domena MZ-a znanje je nastavnika o razumijevanju učenika. S obzirom na to da studenti nemaju institucionalizirani kontakt s učenicima ili je on tijekom studija relativno ograničen, za očekivati je da o učeničkom razumijevanju pojmova znaju malo ili ne znaju ništa. To znači da će se na početku profesionalnog rada, u pripremi i provedbi nastave kemije, učeničko razumijevanje riječi i simbola često prosuđivati prema osobnim predodžbama nastavnika koji nemaju iskustva. Kakve su te predodžbe, koliko su konzistentne i na kojim se kriterijima temelje, odgovara ovaj dio disertacije.

Rezultati izneseni u prethodnom odjeljku ukazuju na slabo razumijevanje tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih termina. Sudeći po iskazima sigurnosti, mnogi studenti toga nisu svjesni. Svijest o postojanju problema, prvi je korak prema njegovu rješavanju. Vodeći se tom idejom, osmišljena je i primijenjena OZO-metoda (očekivanje – znanje – očekivanje). Njome

je istraživano utječe li izlaganje UPZ-u na svijest budućih nastavnika kemije o postojanju poteškoća vlastitog nerazumijevanja riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije.

U skladu s prethodnim, postavljena su dva istraživačka pitanja:

Kakva je percepcija studenata preddiplomskih studija i diplomskog studija o učeničkom razumijevanju tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije?

Može li se OZO-metodom izazvati porast svijesti o poteškoćama s razumijevanjem riječi i simbola koje se koriste u nastavi kemije?

3.1.2.2. Dijagnostički instrument

U ovom dijelu istraživanja upotrijebljena je OZO-metoda. Ona je provedena kombinacijom dvaju instrumenata, UPZ-a i *Upitnika očekivanja učeničkog razumijevanja odabranih pojmova* (UOUR). Prvo je proveden UOUR (prilog 4) kojim se tražila studentska procjena učeničkog razumijevanja određenih riječi i simbola. Nakon toga, studenti su popunjavali UPZ, kojim se provjeravalo njihovo razumijevanje pojmova upotrijebljenih u UOUR-u. O rezultatima te faze izviješteno je u prethodnom odjeljku. Konačno, nakon izlaganja UPZ-u, po drugi je put proveden UOUR. Eventualne razlike u procjenama iskazanih drugim UOUR-om u odnosu na procjene evidentirane prvim UOUR-om mogu ukazivati na promjenu studentskog razmišljanja o složenosti pojedinih riječi ili simbola odnosno na poteškoće koje učenici s njima mogu imati uslijed izlaganja UPZ-u.

UOUR, dakle, omogućuje identifikaciju eventualnih promjena u studentskim procjenama učeničkog razumijevanja. S obzirom na to da ga čine tri različita tipa zadataka, organiziran je u tri bloka. Izuzev posljednjeg pitanja, kojim se ispitivao kriterij studentskih procjena, sva pitanja se odnose na riječi i simbole upotrijebljene u UPZ-u. Svakom je pojmu pridružena skala brojeva s deset vrijednosti. Ona omogućuje preciznije praćenje eventualnih promjena studentskih procjena u odnosu na standardne skale s pet ili sedam vrijednosti. U svim blokovima, odnosno skupovima zadataka, postavljeno je isto pitanje: *Koliki broj učenika, prema vašoj prosudbi, poznaje značenje svake od riječi ili simbola? Na skali gdje 1 znači "nitko", a 10 znači "svi", zaokružite broj koji odgovara vašoj procjeni.* Dakle, broj 1 označava procjenu prema kojoj nitko od učenika ne razumije značenje razmatranog pojma, dok se brojem 10 izriče procjena da svi učenici razumiju razmatrani pojam.

Analogno UPZ-u, u prvom bloku zadataka UOUR-a tražila se (a) procjena poznavanja značenja pojmova u znanstvenom kontekstu i (b) procjena značenja tehničkih (znanstvenih) pojmova u zadanom kontekstu. U drugom je bloku zadataka ponuđeno dvadeset pojmova u svakodnevnom kontekstu, koji se s istim ili različitim značenjem koriste i u nastavi kemije. Konačno, u trećem je bloku zadataka trebalo procijeniti učeničko razumijevanje pojmova koji se upotrebljavaju u nastavi kemije (neki od njih i šire) od kojih se pojedini neizostavno, a drugi povremeno rabe u učenju i poučavanju modela kemijskog vezivanja.

3.1.2.3. Sudionici istraživanja

U ovom je dijelu istraživanja sudjelovalo 148 studenata Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu¹⁰. Broj studenata po razinama, smjerovima i godinama studija prikazan je u tablici 12.

Tablica 12. Prikaz broja sudionika ovog dijela istraživanja po razinama, smjerovima i godinama studija.

		<i>N</i>	%
Preddiplomski studij		111	75,0
Diplomski studij		37	25,0
Ukupno		148	100,0
Biologija i kemija		121	81,8
Nutricionizam		25	16,9
Fizika		2	1,4
Ukupno		148	100,0
Godina studija	preddiplomski 1.	55	37,2
	preddiplomski 2.	37	25,0
	preddiplomski 3.	19	12,8
	diplomski 1.	16	10,8
	diplomski 2.	21	14,2
Ukupno		148	100,0

3.1.2.4. Prikupljanje i analiza podataka

Već je opisano da je prikupljanje podataka provedeno u okruženju OZO-metode. Stoga će se ovdje samo dodati da je na jednoj skupini budućih nastavnika kemije (u ovom slučaju to su bili studenti prve godine diplomskog studija) primijenjena proširena varijanta OZO-metode. S obzirom na to da je OZO slijedu instrumenata priključena rasprava, a potom još jedan UOUR,

¹⁰ U istraživanju su dominantno sudjelovali studenti biologije i kemije. Međutim, uključeno je i 25 studenata smjera Nutricionizam, s preddiplomske razine, jer je njihov program s obzirom na sadržaj kemijskih kolegija sličan programu studija Biologija i kemija. Svi studenti diplomskog studija završetkom fakulteta postaju nastavnici kemije.

nazvana je OZORO-metodom (očekivanje – znanje – očekivanje – rasprava – očekivanje). Studenti su, naime, nakon drugog popunjavanja UOUR-a, sudjelovali u raspravi o značenju pojmova navedenih u upitniku. Rasprava je bila specifično organizirana. Svaki je student bio zadužen da, koristeći literaturu, prouči značenje nekoliko pojmova (uglavnom tri), koji su bili raspodijeljeni metodom slučajnog izbora. Rasprava je provedena po modelu u kojem nastavnik (kao moderator) inicira razgovor o značenju pojedinog pojma u kojem, na početku, sudjeluju svi studenti osim onog studenta koji je bio zadužen za pripremu objašnjenja tog pojma. Kada bi se u raspravi o značenju konkretnog pojma, pojavile nedoumice koje je trebala razriješiti kompetentnija osoba ili kada bi se iscrpila većina argumenata, student zadužen za temeljito objašnjenje značenja tog pojma aktivno bi se uključio u raspravu i argumentirano je zaključio. U situacijama izostanka uvjerljivog tumačenja, nastavnik je preuzimao obvezu objašnjenja značenja pojma. Kako bi se izmjerili eventualni učinci rasprave na promjenu studentskih procjena, oni su, po treći put, popunjavali UOUR. Svaki je student UOUR-e i UPZ popunjavao pod istom kodnom oznakom.

Kako bi se izbjegle različite predodžbe zamišljenih učenika, studentima je naglašeno da učenici u fokusu (njihove) pažnje imaju oko 15 godina i upravo su završili prvi razred gimnazije. To je impliciralo, između ostalog, da su ti učenici izgradili znanje o modelima kemijskog vezivanja.

Statistička obrada podataka uključila je deskriptivne analize kojima je cilj bio opisati izmjereni skup podataka navođenjem frekvencija, izračunavanjem i određivanjem mjera središnjih vrijednosti (vrijednosti koje reprezentiraju taj skup) i pripadajućeg raspršenja (mjere koja nam pokazuje koliko središnja vrijednost dobro reprezentira spomenuti skup), te ga slikovno (gafički) ili tablično prikazati.

3.1.2.5. Ograničenja rezultata

Sva tri upitnika (odnosno 4, u slučaju jedne grupe studenata) nisu provedena u nizu (dakle, u jednom terminu) jer bi zasićenje studenata moglo zasjeniti rezultate. Zbog toga su UOUR-i i UPZ provedeni u odvojenim terminima. S obzirom na to da su studenti u tom periodu mogli međusobno komunicirati o sadržaju instrumenata, za očekivati je da su spoznali ili evocirali značenja nekih pojmova i zbog toga potencijalno stekli drugačiji dojam o njihovoj složenosti od onog kojeg su popunjavanjem prvog UOUR-a iskazali.

Mjerilo studentske procjene iskazano je skalom od 1 do 10. U tekstualnom opisu rezultata, radi jednostavnosti, odabrana vrijednost translatairana je u postotak. Tako je, primjerice, procjena

razumijevanja pojma *energija* iskazana brojem tri protumačena kao procjena prema kojoj 30 % učenika poznaje značenje tog pojma. S obzirom na to da skala ne počinje od nule, tako iskazan postotak nije precizan. Ipak, budući da primijenjeni sustav transliranja doprinosi čitljivosti rezultata, a iskazani postotci značajno ne odstupaju od vrijednosti na skali, taj je pristup primijenjen pri interpretaciji rezultata.

3.1.2.6. Rezultati UOUR-a s raspravom

U ovom dijelu prikazani su i raspravljani rezultati prvog, drugog i trećeg UOUR-a. Rezultati studenata preddiplomskih studija i studenata diplomskog studija bit će prikazani odvojeno.

3.1.2.6.1. Rezultati prvog bloka zadataka UOUR-a

Prvi blok zadataka čine dva dijela. U prvom, A-dijelu, zadano je pet pojmova. Studenti su trebali procijeniti koliko učenika poznaje njihovo značenje. Drugi, B-dio, sadrži šest rečenica. U svakoj je označena jedna riječ. Studenti su trebali prosuditi koliko učenika poznaje značenje označenih riječi u kontekstu rečenice.

3.1.2.6.1.1. Rezultati A-dijela prvog bloka zadataka UOUR-a

U tablici 13, prikazani su rezultati A-dijela prvog bloka zadataka.

Tablica 13. Procjene studenata preddiplomskih studija i diplomskog studija o učeničkom razumijevanju pojmova *koeficijent*, *množina*, *analiza*, *težište* i *konformacija*, iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u.

	UOUR 1			UOUR 2 preddiplomski			UOUR 3		
	as	<i>N</i>	sd	as	<i>N</i>	sd	as	<i>N</i>	sd
Koeficijent	6,35	101	2,295	5,47	74	2,440			
Množina	7,64	102	2,202	6,89	75	2,287			
Analiza	7,54	102	1,953	6,97	75	2,331			
Težište	5,38	102	2,355	4,80	75	2,438			
Konformacija	3,88	102	2,240	4,29	75	2,487			
	diplomski								
	as	<i>N</i>	sd	as	<i>N</i>	sd	as	<i>N</i>	sd
Koeficijent	6,11	37	2,470	6,47	36	2,104	4,36	11	1,362
Množina	7,30	37	1,596	6,58	36	1,697	5,09	11	2,071
Analiza	7,46	37	1,980	6,75	36	2,234	6,18	11	2,089
Težište	4,59	37	2,153	4,11	36	2,039	4,82	11	2,089
Konformacija	4,84	37	2,048	5,06	36	2,425	4,09	11	2,212

Studenti preddiplomskog studija procjenjuju da će ciljane učenička populacija, između ponuđenih riječi, najslabije poznavati značenje riječi *konformacija* (3,88 od 10). Takva procjena ima uporište u nastavnom programu jer se *konformacija* kao kemijski pojam po prvi put uvodi tek u četvrtom razredu srednje škole. Učenici bi, prema procjeni studenata diplomskog studija, najviše poteškoća trebali imati sa značenjem riječi *težište* (4,59). S druge strane, preddiplomci i diplomci podjednako procjenjuju da je značenje riječi *analiza* i *množina* poznato najvećem broju (približno oko 75 %) učenika.

Izuzmemo li porast očekivanja o poznavanju značenja riječi *konformacija* (studenata preddiplomskih i diplomskog studija) i *koeficijent* (studenata diplomskog studija), rezultati drugog UOUR-a pokazuju da su očekivanja studenata o učeničkom poznavanju značenja ostalih pojmova, smanjena. Temeljem toga može se zaključiti da je izlaganje studenata UPZ-u, u kojem je trebalo objasniti značenje istih pojmova, utjecalo na smanjenje očekivanja učeničkog poznavanja značenja riječi *množina*, *analiza* i *težište*, te, u slučaju studenata preddiplomskih studija, riječi *koeficijent*.

S obzirom na to da su studenti prve godine diplomskog studija tri puta popunjavali UOUR, njihovi rezultati prvog, A-dijela, prvog bloka zadataka razmatrani su zasebno. Rezultati su prikazani u tablici 14.

Tablica 14. Procjene studenata prve godine diplomskog studija o učeničkom razumijevanju pojmova *koeficijent*, *množina*, *analiza*, *težište* i *konformacija*, iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u.

	UOUR 1			UOUR 2			UOUR 3		
	as	N	sd	as	N	sd	as	N	sd
Koeficijent	4,56	16	1,711	5,38	16	1,928	4,36	11	1,362
Množina	7,13	16	1,708	6,25	16	1,949	5,09	11	2,071
Analiza	7,88	16	1,586	6,63	16	2,553	6,18	11	2,089
Težište	5,88	16	1,668	4,44	16	2,159	4,82	11	2,089
Konformacija	5,00	16	2,221	4,75	16	2,745	4,09	11	2,212

Silazni trend očekivanja učeničkog poznavanja značenja iskazan je na liniji prvi UOUR – drugi UOUR – treći UOUR za riječi *množina*, *analiza* i *konformacija*. Porast očekivanja učeničkog poznavanja značenja nakon rasprave utvrđena je samo za riječ *težište*.

Uzevši u obzir da su četiri od pet rezultata drugog UOUR-a, odnosno trećeg UOUR-a nižih vrijednosti od rezultata prethodnog koraka, može se zaključiti da su smanjena studentska očekivanjima o učeničkom poznavanju značenja zadanih pojmova posljedica (a) izlaganja UPZ-u i (b) provedene rasprave. Prethodno izneseni rezultati sugeriraju da suočavanje studenata s potrebom objašnjavanja značenja određenih pojmova te specifično pripremljena i

vođena rasprava (kako je ranije opisano) ima metodičke potencijale koji se mogu iskoristiti za povećanje osviještenosti o (a) vlastitom poznavanju značenja odabranih pojmova i (b) važnosti pridavanja pažnje značenju pojmova (odnosno jeziku) u nastavi kemije.

3.1.2.6.1.2. Rezultati B-dijela prvog bloka zadataka UOUR-a

Rezultati drugog, B-dijela, prvog bloka zadataka prikazani su u tablici 15.

Tablica 15. Procjene studenata preddiplomskih studija i diplomskog studija o učeničkom poznavanju značenja pojmova *sila*, *formula*, *relativan*, *kristal* i *polumjer* u zadanom kontekstu. Procjene su evidentirane prvim, drugim i trećim UOUR-om.

	UOUR 1			UOUR 2			UOUR 3		
	preddiplomci								
	as	N	sd	as	N	sd	as	N	sd
Privlačne <u>sile</u> između molekula nazivamo van der Waalsovima silama.	6,94	103	2,104	5,99	74	2,474			
<u>Formula</u> škroba nije jednostavna.	8,50	103	1,809	8,08	75	2,012			
Elektronegativnost je <u>relativan</u> koncept.	6,03	103	2,299	6,00	75	2,150			
Velik i lijepo oblikovan <u>kristal</u> rijetko možemo naći u prirodi.	7,64	103	2,305	6,88	75	2,563			
Iako atom nema određene granice, često rabimo veličinu poznatu kao <u>polumjer</u> atoma.	8,12	101	2,089	7,80	75	2,272			
U svaku orbitalu mogu se smjestiti dva elektrona suprotnog <u>spina</u> .	4,51	102	2,436	5,99	74	2,474			
	diplomci								
	as	N	sd	as	N	sd	as	N	sd
Privlačne <u>sile</u> između molekula nazivamo van der Waalsovima silama.	6,38	37	2,419	5,75	36	2,209	3,55	11	1,695
<u>Formula</u> škroba nije jednostavna.	8,62	37	1,534	7,69	36	2,068	6,45	11	1,864
Elektronegativnost je <u>relativan</u> koncept.	5,57	37	2,089	5,56	36	2,455	4,73	11	1,555
Velik i lijepo oblikovan <u>kristal</u> rijetko možemo naći u prirodi.	7,78	37	1,782	7,14	36	2,451	5,64	11	1,912
Iako atom nema određene granice, često rabimo veličinu poznatu kao <u>polumjer</u> atoma.	8,51	37	2,009	8,03	36	1,844	7,45	11	1,809
U svaku orbitalu mogu se smjestiti dva elektrona suprotnog <u>spina</u> .	4,49	37	2,341	5,75	36	2,209	2,00	11	0,775

Usporedbom rezultata prvog i drugog UOUR-a uočava se trend sniženja studentske procjene broja učenika koji poznaju značenje pojmova *sila*, *formula*, *relativan*, *kristal* i *polumjer*. Izuzetak je procjena poznavanja značenja pojma *spin*, koji je prema rezultatima prvog UOUR-a smatran najvećom nepoznanicom za učenike. Međutim, nakon izlaganja UPZ-u, studentska je procjena učeničkog poznavanja značenja te riječi, u kontekstu svojstva elektrona, porasla.

Studenti su prosudili da će, između ponuđenih, značenje riječi *formula* u zadanom kontekstu poznavati najveći broj učenika. Nakon provedbe UPZ-a, diplomci su *polumjer* procijenili pojmom najpoznatijeg značenja.

Zanimljivo je da su procjene studenata preddiplomskog i diplomskog studija približno jednako iskazane u prvom i drugom UOUR-u za sve pojmove ovog dijela prvog bloka zadataka. Čak se i procjena učeničkog poznavanja značenja riječi *spin* te povećanje njezine vrijednosti nakon drugog UOUR-a, uklapa u uočenu pravilnost.

U trećem su UOUR-u, u odnosu prva dva, iskazane niže procjene za svih šest pojmova u danim kontekstima. Najviše je snižena procjena učeničkog poznavanja značenja pojmova *spin* i *sile*, a potom pojma *kristal*. Najmanje raspršenje rezultata ($sd = 0,775$) ukazuje na homogenu procjenu studenata da je *spin* pojam čije značenje, u odnosu na ostale razmatrane pojmove, poznaje najmanje učenika ($as = 2$).

Drugačija procjena učeničkog poznavanja značenja evidentirana drugim UOUR-om, u odnosu na prvi, posljedica je izlaganja studenata UPZ-u. To upućuje da su se studenti u procjeni vodili vlastitim razumijevanjem razmatranih pojmova. Također, niže vrijednosti procjene učeničkog poznavanja značenja pojmova *sile*, *formula*, *relativan*, *kristal* i *polumjer* evidentirane drugim UOUR-om, odnosno svih pojmova, evidentirane trećim UOUR-om, ukazuju na porast svijesti studenata o potencijalnim poteškoćama koje učenici s razumijevanjem tih pojmova mogu imati. Tijekom rasprave, studenti su dobili povratne informacije o valjanosti vlastitog promišljanja. Rezultati pokazuju pozitivan učinak takvog pristupa na svijest o složenosti značenja razmatranih pojmova.

3.1.2.6.1.2. Rezultati drugog bloka zadataka UOUR-a

Drugim blokom zadataka u UOUR-ima istraživano je poimanje studenata preddiplomskih i diplomskog studija o učeničkom razumijevanju svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije. Neki od zadanih pojmova uz svakodnevno imaju i tehničko (znanstveno) značenje. Rezultati studenata preddiplomskih studija prikazani su u tablici 16, a rezultati studenata diplomskih studija u tablici 17.

Tablica 16. Procjene studenata preddiplomskih studija o učeničkom razumijevanju 20 svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom i drugom UOUR-u.

	UOUR 1			UOUR 2		
	as	N	sd	ad	N	sd
derivat	4,67	103	2,281	4,57	75	2,243
modifikacija	5,06	102	2,320	4,68	75	2,074
karbonizacija	5,18	103	2,359	4,63	75	2,223
neutralizirati	7,02	103	2,178	6,29	75	2,210
ograničenje	8,34	103	2,032	7,69	75	2,336
efekt	7,97	103	2,207	6,89	75	2,469
simultano	4,65	103	2,291	4,09	75	2,450
konzistentan	4,11	103	2,465	3,49	74	2,204
postotak	9,07	101	1,251	8,09	75	2,742
dezintegrirati	3,62	103	2,258	3,35	75	2,293
formiranje	7,69	101	2,185	6,79	75	2,435
naboj	8,11	103	1,873	6,89	75	2,264
elementarno	7,73	103	2,040	6,63	75	2,530
proporcija	6,55	103	2,312	5,52	75	2,559
planarni	4,33	103	2,273	3,79	75	2,170
frakcija	4,33	103	2,451	3,55	75	2,321
sublimirati	6,54	102	2,709	5,60	75	2,731
generalizacija	6,39	102	2,584	5,57	75	2,450
permanentni	4,91	103	2,780	4,40	75	2,785
donirati	8,30	103	2,038	7,77	75	2,374

Studenti preddiplomskih studija očekuju da najveći broj učenika ima problema sa značenjem riječi *dezintegrirati*. Značenje riječi *frakcija*, *konzistentno*, *planarno*, *simultano*, *derivat* i *permanentni*, prema prvoj procjeni studenata, poznaje manje od 50 % učenika, dok značenje riječi *postotak* poznaju gotovo svi. Usporedbom rezultata prvog i drugog UOUR-a uočava se trend smanjenja procjene poznavanja značenja za sve riječi.

Tablica 17. Procjene studenata diplomskog studija o učeničkom razumijevanju 20 svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u.

	UOUR 1			UOUR 2			UOUR 3		
	as	N	sd	ad	N	sd	as	N	sd
derivat	4,95	37	1,779	5,61	36	1,946	4,27	11	1,954
modifikacija	5,41	37	2,074	5,19	36	2,189	4,18	11	1,250
karbonizacija	6,05	37	2,013	5,94	36	2,042	5,27	11	2,240
neutralizirati	7,46	37	1,726	6,81	36	1,939	6,36	11	2,248
ograničenje	8,33	36	2,014	7,47	36	2,063	6,45	11	1,864
efekt	7,70	37	2,093	6,56	36	2,286	5,91	11	1,973
simultano	6,14	37	2,382	5,33	36	2,165	5,27	11	2,102
konzistentan	4,84	37	2,205	4,75	36	2,371	4,55	11	1,695
postotak	9,27	37	1,018	8,53	36	1,444	7,00	11	2,757
dezintegrirati	3,41	37	1,950	4,06	36	2,229	3,18	11	1,328
formiranje	7,95	37	1,870	7,14	36	2,031	6,27	11	2,005
naboj	7,89	37	2,079	6,94	36	2,137	5,82	11	2,316
elementarno	7,84	37	1,724	6,67	36	2,098	5,64	11	2,157
proporcija	8,89	37	1,673	5,36	36	2,058	5,36	11	2,111
planarni	4,57	37	2,167	4,40	35	2,103	5,18	11	1,662
frakcija	4,89	37	1,868	4,39	36	1,902	4,36	11	1,804
sublimirati	7,51	37	1,726	6,28	36	2,325	6,45	11	2,067
generalizacija	7,03	37	2,230	6,06	35	2,169	6,18	11	2,040
permanentni	4,35	37	2,383	4,50	36	2,657	4,82	11	1,940
donirati	8,84	37	1,463	7,92	36	1,948	7,55	11	2,339

Rezultati diplomaca vrlo su slični rezultatima preddiplomaca: *dezintegrirati* je riječ najmanje poznatog značenja, a riječi *permanentno*, *planarno*, *konzistentno*, *frakcija* i *derivat*, poznaje manje od polovice učenika. Ovi studenti, opet poput preddiplomaca, očekuju da značenje *postotka* razumiju gotovo svi.

Silazni trend očekivanja, uočljiv je i u rezultatima studenata diplomskog studija. Ipak, u njihovim su rezultatima evidentirana tri izuzetka – poraslo je očekivanje učeničkog poznavanja značenja riječi *derivat*, *dezintegrirati* i *permanentni* (tablica 17). Ipak, uzevši u obzir da je drugim UOUR-om, u 37 od 40 slučajeva ovog bloka (20 za preddiplomce i 17 za diplomce), utvrđen pad očekivanja učeničkog poznavanja značenja svakodnevnih riječi, zaključujemo da je iskazana promjena posljedica studentskog izlaganja UPZ-u. Također, silazni trend očekivanja indicira porast svijesti studenata o mogućim poteškoćama učenika s razumijevanjem razmatranih svakodnevnih riječi.

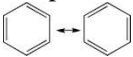
Usporedba rezultata trećeg UOUR-a s rezultatima prethodna dva pokazuje dodatno smanjenje procjene učeničkog poznavanja značenja, osim za riječi *planarni* i *permanentni* čije su vrijednosti više od procjena iskazanih u prvom i drugom UOUR-u, te riječi *sublimirati* i *generalizacija*, čije su vrijednosti više od procjena iskazanih u drugom UOUR-u. Na temelju iznesenih podataka zaključujemo da je rasprava o značenju svakodnevnih pojmova upotrijebljenih u ovom bloku zadataka uglavnom uzrokovala smanjenje vrijednosti procjene učeničkog poznavanja njihova značenja.

Promatrajući sve rezultate ovog bloka može se zaključiti da studenti očekuju da će s razumijevanjem svakodnevnog značenja svake od 20 razmatranih riječi, veći ili manji broj učenika imati poteškoća. Ovakva spoznaja može utjecati na promjenu nastavne prakse, u kojoj se značenju, posebno svakodnevnih riječi, uglavnom ne posvećuje dovoljna pažnja. Provedba OZO(RO)-metode utjecala je na porast svijesti studenata o poteškoćama koje učenici mogu imati s razumijevanjem riječi iz svakodnevnog i nastavnog okruženja. Možda bi primjena slične metode u nastavi kemije mogla rezultirati većim jezičnim kompetencijama učenika.

3.1.2.6.2. Rezultati trećeg bloka zadataka UOUR-a

U trećem bloku zadataka UOUR-a tražila se procjena učeničkog poznavanja značenja 20 riječi, simbola ili izraza koji se koriste u nastavi kemije odnosno u poučavanju i učenju o kemijskom vezivanju. Radi preglednosti, rezultati studenata preddiplomskih studija prikazani su u tablici 18, a rezultati studenata diplomskog studija, u tablici 19.

Tablica 18. Procjene studenata preddiplomskih studija o učeničkom razumijevanju 20 riječi, simbola i izraza koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom i drugom UOUR-u.

	UOUR 1			UOUR 2		
	as	N	sd	as	N	sd
korpuskularno	2,00	102	1,476	2,11	75	1,879
CuSO ₄ x 5H ₂ O(s)	6,15	102	2,455	6,40	75	2,814
nukleonski broj	6,89	102	2,138	6,65	75	2,419
<	9,36	103	3,202	8,67	75	2,016
propan-1,2,3-triol	4,76	102	2,478	4,85	75	2,556
interakcija	6,58	103	2,065	6,19	75	2,288
energija	8,62	103	2,015	6,41	75	2,829
otopina	8,66	103	1,796	7,24	75	2,364
	5,11	103	2,825	4,75	75	2,900
μ	5,25	102	2,547	4,85	75	3,003
orbitala	4,91	103	2,529	4,44	75	2,429
kg/m ³	7,42	103	2,391	6,86	74	2,523
interpretacija	6,98	103	2,301	6,15	75	2,603
valentni elektroni	6,49	103	2,317	6,00	74	2,461
ionska veza	6,86	103	2,096	6,22	74	2,241
rezonancija	4,70	103	2,363	4,61	75	2,449
nabojni broj	6,17	103	2,580	5,85	75	2,288
trigonska bipiramida	3,75	103	2,283	3,44	75	2,332
redukcijski potencijal	3,67	103	2,411	3,29	75	2,104
A = N(p+) + N(n0)	7,00	103	2,505	6,97	75	2,254

Prema procjeni preddiplomaca, tek dvadesetak posto učenika poznaje značenje riječi *korpuskularno*. Veće probleme očekuju i s razumijevanjem riječi *redukcijski potencijal*, *trigonska bipiramida*, *rezonancija*, *propan-1,2,3-triol* i *orbitala*. Zanimljivo, među pojmovima čije značenje poznaje manje od polovice učenika nalaze se riječi, ali ne i simboli ili izrazi.

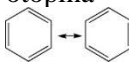
Utjecaj suočavanja s potrebom objašnjavanja značenja svakog pojma tijekom popunjavanja UPZ-a, vidljiv je iz rezultata drugog UOUR-a. Trend sniženja vrijednosti procjene učeničkog poznavanja značenja zadanih pojmova, jasno je uočljiv. Iznimke se odnose na procijene poznavanja značenja riječi *korpuskularno*, *propan-1,2,3-triol* i formule bakrova(II) sulfata pentahidrata, *CuSO₄ · 5H₂O(s)*.

Zanimljivo je primijetiti da su neki pojmovi, poput *energije*, procijenjeni (doduše, s tendencijom pada u drugom UOUR-u) kao oni čije značenje poznaje većina učenika unatoč činjenici da, energija, primjerice, kao konceptualni pojam ima visok stupanj apstrakcije (Wellington i Osborne, 2001). S obzirom na to da riječ energija ima i svakodnevno značenje,

postoji mogućnost da je dio studenata razmatrao poznavanje značenja te riječi u svakodnevnom kontekstu.

Između svih riječi, simbola i izraza upotrijebljenih u ovom bloku, prema preddiplomcima, najveći broj učenika, odnosno gotovo svi, znaju značenje znaka "<". Isto su očekivanje iskazali i studenti diplomskog studija (tablica 19).

Tablica 19. Procjene studenata diplomskog studija o učeničkom razumijevanju 20 riječi, simbola i izraza koji se koriste u učenju i poučavanju kemije, iskazane u prvom, drugom i trećem UOUR-u.

	UOUR 1			UOUR 2			UOUR 3		
	as	N	sd	as	N	sd	as	N	sd
korpuskularno	2,06	36	1,094	2,44	36	1,992	2,45	11	1,508
$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$	6,54	37	2,063	6,64	36	2,244	6,64	11	2,248
nukleonski broj	7,00	37	2,108	6,67	36	2,402	6,91	11	1,814
<	9,22	36	1,198	8,53	36	1,682	8,55	11	1,440
propan-1,2,3-triol	5,65	37	2,150	5,78	36	2,319	5,45	11	1,968
interakcija	7,30	37	1,956	6,58	36	2,260	6,00	11	1,897
energija	8,51	37	1,660	6,08	36	2,477	4,27	11	2,412
otopina	8,84	37	1,259	7,44	36	1,992	6,91	11	2,386
	5,46	37	2,445	5,19	36	2,550	4,82	11	1,601
μ	4,97	37	2,398	4,78	36	2,044	4,27	11	2,195
orbitala	4,54	37	2,512	4,31	36	2,340	3,73	11	2,054
kg/m^3	9,00	36	10,661	6,97	36	2,077	6,27	11	2,149
interpretacija	7,62	37	2,032	6,72	36	2,133	5,09	11	1,921
valentni elektroni	6,08	37	2,265	6,08	36	2,130	5,00	11	1,897
ionska veza	6,35	37	1,798	6,11	36	2,135	5,45	11	1,635
rezonancija	4,97	37	2,217	4,86	36	2,587	4,00	11	1,673
nabojni broj	6,16	37	2,128	6,03	35	2,431	5,55	11	2,207
trigonska bipiramida	3,32	37	1,842	2,83	36	1,935	3,55	11	1,036
redukcijski potencijal	3,86	37	2,084	4,08	36	2,034	3,64	11	1,912
$A = N(\text{p}+) + N(\text{n}0)$	7,59	37	1,833	7,47	36	2,360	6,73	11	1,618

Procjene diplomaca (tablica 19) slične su procjenama preddiplomaca (tablica 18). Primjerice, slično mlađim kolegama, studenti diplomskog studija očekuju da tek oko 20 % učenika poznaje značenje riječi *korpuskularno*. Također, slično procjenjuju da među pojmove koje razumije manje od polovice učenika spadaju *trigonska bipiramida*, *redukcijski potencijal*, *orbitala* i *rezonancija*. S obzirom na to da oko *problematičnosti* tih pojmova postoji konsenzus na razini oba uzorka, treba im u nastavi kemije, odnosno u nastavi o kemijskom vezivanju, posvetiti posebnu pozornost.

Trend sniženja vrijednosti procjene učeničkog poznavanja značenja razmatranih pojmova evidentiran je i u slučaju trećeg bloka zadataka UOUR-a. Pet je izuzetka: *korpuskularno*, *propan-1,2,3-triol*, *CuSO₄ x 5H₂O(s)*, *interpretacija* i *redukcijski potencijal*.

Utjecaj rasprave na prosudbu učeničkog poznavanja značenja zadanih pojmova izražen je i u slučaju ovog (trećeg) bloka zadataka. Od 20 pojmova, za četiri je iskazana viša vrijednost procjene učeničkog poznavanja značenja u odnosu na drugi UOUR (*korpuskularno*, *nukleonski broj*, *trigonska piramida* i znak "<"). Zanimljivo je pratiti kretanje vrijednosti procjene značenja pojma *energija* u UOUR-ima (prvi UOUR, as = 8,51; drugi UOUR, as = 6,08; treći UOUR, as = 4,27). Pad vrijednosti rezultata ukazuje na postupan porast svijesti o složenosti značenja tog pojma, izazvan popunjavanjem UPZ-a i raspravom o njegovom značenju.

3.1.2.6.4. Kriteriji procjena učeničkog poznavanja značenja razmatranih pojmova

Da bi se utvrdilo temeljem kojih su kriterija studenti prosuđivali učeničko poznavanje značenja riječi i simbola, obrađeni su i u tablici 20 prikazani rezultati posljednjeg zadatka UOUR-a. Studenti su mogli navesti više od jednog kriterija.

Tablica 20. Studentski kriteriji za procjenu učeničkog razumijevanja zadanih riječi i simbola, iskazani prvim, drugim i trećim UOUR-om.

Na temelju čega ste procjenjivali...?	UOUR 1		UOUR 2		UOUR 3	
	N	%	N	%	N	%
Na temelju prisjećanja vlastitog znanja u toj dobi.	78	46,2	43	39,8	7	30,4
Na temelju prosudbe što učenici trebaju znati.	33	19,5	30	31,5	4	17,4
Na temelju osjećaja.	24	14,2	19	27,8	9	39,1
Na temelju procjene vlastitog razumijevanja razmatranih pojmova.	24	14,2	34	17,6	4	17,4
Drugo.	10	5,9	6	5,6	2	8,7

Studenti koriste različita mjerila za procjenu učeničkog znanja. Prema iskazima iz prvog i drugog UOUR-a, većina studenata učeničko poznavanje značenja razmatranih riječi i simbola prosuđuje temeljem prisjećanja vlastitog znanja u toj dobi, a potom temeljem prosudbe što bi gimnazijalci tog uzrasta trebali znati.

Relativno mali postotak studenata sudio je prema vlastitom razumijevanju razmatranih pojmova. Postotak takvih studenata nije se (bitno) mijenjao tijekom provedbe OZO(RO)-metode. Takav je nalaz u suprotnosti s pretpostavkom da je evidentirani trend sniženja vrijednosti procjene posljedica studentskog izlaganja UPZ-u i raspravi. Broj studenata koji su se vodili ostalim kriterijima različito je oscilirao u ovisnosti o čimbeniku utjecaja (UPZ-u i

raspravi). Trend sniženja procjene učeničkog razumijevanja razmatranih pojmova može se povezati s povećanjem broja studenata koji su očekivanja o učeničkom razumijevanju temeljili na *osjećaju*. Naime, broj onih koji su u drugom UOUR-u procjenjivali prema *osjećaju* udvostručen je u odnosu na prvi UOUR, te dodatno povećan u trećem UOUR-u. Očito je izloženost UPZ-u i sudjelovanje u raspravi utjecala na promjenu *osjećaja* studenata o onome što učenici znaju. Kako su obje intervencije u okviru OZO(RO)-metode (UPZ i rasprava) izravno utjecale na svijest studenata o vlastitom razumijevanju razmatranih riječi i simbola, može se pretpostaviti da se studentska procjena učeničkog poznavanja značenja razmatranih pojmova *prema osjećaju* temelji na svijesti o vlastitom znanju. Ova će pretpostavka biti razmotrena u svijetlu kvalitativnih podataka u odjeljku 3.1.4.

3.1.2.7. Zaključak

Mišljenja studenata diplomskog i preddiplomskih studija o učeničkom razumijevanju zadanih riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije, odnosno u nastavi o kemijskom vezivanju, nije konzistentna. Bez obzira jesu li se propitivala očekivanja studenata o učeničkom poznavanju značenja tehničkih (znanstvenih) ili svakodnevnih pojmova, simbola ili izraza, riječi u kontekstu ili bez konteksta, u najvećem broju slučajeva, studenti su nakon izlaganja UPZ-u i nakon sudjelovanja u raspravi o njihovu značenju, snižavali svoju procjenu. Takav rezultat upućuje na porast svijesti studenata o složenosti značenja i poteškoćama s razumijevanjem određenih riječi i simbola. Promjena svijesti posljedica je izlaganja OZO-metodi i pokazatelj je njezine djelotvornosti.

3.1.2.8. Implikacije za nastavu

Iako sudionici ovog dijela istraživanja vlastito znanje ne smatraju kriterijem procjene učeničkog znanja, prikupljeni podatci upućuju na suprotno. Pokazalo se da primjena OZO(RO)-metode može rezultirati porastom svijesti studenata o vlastitim poteškoćama s razumijevanjem određenih riječi i simbola. Spoznaja da konkretni tehnički (znanstveni) pojmovi, svakodnevni pojmovi i simboli studentima, pa onda i učenicima, mogu biti *problematici*, doprinos je MZ-u budućih nastavnika kemije. Stoga vrijedi razmotriti primjenu OZO(RO) metode u metodičkim kolegijima budućih nastavnika kemije.

3.1.3. Sveza uspješnosti rješavanja problema kemijskog vezivanja i razumijevanja ključnih pojmova uz identifikaciju specifičnih jezičnih poteškoća

Do sada izneseni rezultati jasno ukazuju da jeziku nastave kemije treba posvetiti posebnu pozornost u poučavanju, ali i istraživanju problema nastave kemije. S obzirom na to da je ovo

istraživanje primarno organizirano oko problema razumijevanja kemijskog vezivanja, u nastavku će dodatno biti ispitano razumijevanje pojmova karakterističnih za to područje znanja. Također, istražiti će se eventualna sveza između studentskog razumijevanja odabranih pojmova i uspješnosti rješavanja nastavnih zadataka koji se na tim pojmovima temelje.

3.1.3.1. Istraživačka pitanja

U skladu s prethodnim, postavljena su dva istraživačka pitanja:

U kakvoj je svezi uspješnost rješavanja problema kemijskog vezivanja i razumijevanje ključnih pojmova?

Koji se jezični problemi mogu prepoznati analizom odgovora uparenih testova o kemijskom vezivanju?

3.1.3.2. Dijagnostički instrument

Kako bi se utvrdila eventualna sveza između uspješnosti rješavanja problema kemijskog vezivanja i poznavanja značenja ključnih pojmova, oblikovana su dva testa znanja o kemijskom vezivanju. Razlikuju se po opsegu, obliku pitanja i razinama znanja koje se njima propituju. Oba se temelje na sadržaju koji uključuje pojmove: *elektronegativnost*, *kemijska veza*, *kovalentna veza*, *elektronski afinitet*, *ionski karakter veze* i *duljina veze*. Prvim testom (Test A, TA) (Prilog 5) tražilo se definiranje zadanih pojmova, a drugim (Test B, TB) (Prilog 6) rješavanje kemijskih problema utemeljenih na tim pojmovima.

3.1.3.3. Sudionici istraživanja

U istraživanju je sudjelovalo 37 studenata dviju generacija (2013./2014. i 2014./2015.) koji se na 2. godini diplomskog studija obrazuju za nastavnike kemije (i biologije).

3.1.3.4. Prikupljanje i analiza podataka

TA i TB su anonimno popunjavani tijekom jednog nastavnog sata. Prikupljeni podatci obrađeni su metodama deskriptivne statističke analize. Autor ove disertacije, kritički prijatelj te iskusni srednjoškolski nastavnik kemije, prvotno neovisno jedni o drugima, a naknadno kroz raspravu i usuglašavanje, vrednovali su odgovore na otvorena pitanja TA-a. Svaki odgovor svrstan je u kategoriju kao točan, djelomično točan ili netočan. Djelomično točnim odgovorom označen je iskaz koji ne sadržava pogrešne informacije, ali nema sve elemente da bi ga se smatralo cjelovitim i jednoznačnim. Primjerice, definicija prema kojoj je *kovalentna veza*, *veza između atoma nemetala*, procijenjena je djelomično točnom. Tom se definicijom točno ukazuje da se

kovalentna veza ostvaruje između atoma, a ne, primjerice iona. Međutim, definicija nije procijenjena potpuno točnom jer joj nedostaje određenost kovalentne veze kao modela prema kojem atomi dijele zajednički elektronski par ili modela koji se temelji na električnom privlačenju atoma.

Rezultati testova znanja iskazani su u postotcima točnih odgovora. Pojedini su zaključci potkrijepljeni citatima sudionika kojima su pridana izmišljena imena. Vjerojatnost povezanosti razumijevanja svakog pojma i rješenja odgovarajućeg zadatka, provjeravana je hi-kvadrat testom. Stupanj povezanosti uparenih varijabli iskazan je koeficijentom kontigencije C .

3.1.3.5. Ograničenja rezultata

Cilj uparivanja TA-a i TB-a je utvrđivanje veze između razumijevanja odabranog pojma i uspješnosti rješavanja zadataka koji se temelji na tom pojmu. Da bi se nedvojbeno utvrdila povezanost tih dviju varijabli, zadatak se treba temeljiti samo na ključnom pojmu. Međutim, jedan pojam, u pravilu, nije dovoljan za osmišljavanje kompleksnijih problema. Stoga su neki od zadataka TB-a multikonceptualni, što znači da za njihovo rješavanje nije dovoljno znanje ključnog pojma (koncepta) već i znanje drugih pojmova koji su s njim povezani. Iako se ovakve okolnosti nastojalo svesti na najmanju moguću mjeru pridajući dominantni značaj ključnom pojmu, nije ih se moglo izbjeći.

Također, neki su zadatci kontekstualno određeni pa treba uzeti u obzir da na uspješnost njihova rješavanja može utjecati i razumijevanje konteksta. Uz to, različiti zadatci prikazani su različitim načinima komunikacije: neki od njih su tekstualni, drugi se temelje na crtežima, treći na grafičkim prikazima. Za pretpostaviti je da uspješnost pojedinog studenta može ovisiti o boljem ili lošijem snalaženju u okruženju tekstualnih, shematiziranih ili grafičkih formata.

3.1.3.6. Rezultati TA-a i TB-a s raspravom

Kao što je ranije navedeno, studenti su u TA-u trebali definirati zadane pojmove, a u TB-u, uz ostalo, primijeniti znanje o njihovom značenju u rješavanju kemijskih problema. Prvo će biti prikazani rezultati TA-a.

3.1.3.6.1. Rezultati TA-a

Rezultati TA-a prikazani su u tablici 21.

Tablica 21. Uspješnost studentskog definiranja pojmova *elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, elektronski afinitet, ionski karakter veze i duljina veze*

	točno		netočno		djelomično		ukupno	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
1. Definirajte elektronegativnost.	12	32,4	18	48,6	7	18,9	37	100,0
2. Definirajte pojam kemijska veza.	10	27,0	10	27,0	17	45,9	37	100,0
3. Definirajte pojam kovalentna veza.	5	13,5	11	29,7	21	56,8	37	100,0
4. Definirajte elektronski afinitet.	15	40,5	13	35,1	9	24,3	37	100,0
5. Objasnite pojam ionski karakter veze.	3	8,1	30	81,1	4	10,8	37	100,0
6. Definirajte pojam duljina veze.	11	29,7	17	45,9	9	24,3	37	100,0

Budući nastavnici kemije nisu pokazali prikladno razumijevanje razmatranih pojmova. Najviše poteškoća imali su s objašnjavanjem pojma *ionski karakter veze*. Tek ga je petina ispitanika uspješno definirala. Ostali su nudili različita objašnjenja, od onih da je ionski karakter veze *kada je jedna čestica negativnija od druge (unutar molekule)*, preko nespretno formuliranih definicija, poput one da je to *veza koja je između dva atoma s velikom razlikom u elektronegativnosti* pa sve do poistovjećivanja ionskog karaktera veze s *ionskom vezom koja uvijek posjeduje jasno definirani kation i anion*.

Gotovo polovica budućih nastavnika kemije nije znala objasniti značenje pojmova *elektronegativnost* i *duljina veze*. Većina elektronegativnost opisuje kao *snagu, energiju ili silu kojom atom privlači elektrone* odnosno kao *svojstvo elementa kojim se mjeri njegov afinitet prema elektronu*. Očito je da pojedinci ne razlikuju elektronegativnost od elektronskog afiniteta.

Definicije pojmova *kemijska veza* i *kovalentna veza* često su neprecizne i nedorečene. Dina, primjerice, kemijsku vezu definira kao *vezu koju uspostavljaju atomi nekih elemenata*, a kovalentnu vezu kao *vezu između atoma nemetala*.

Najveći se broj točnih definicija odnosi na pojam *elektronski afinitet* (40,5 %). Iako *elektronski afinitet* označava količinu odnosno promjenu energije kada atom, molekula ili radikal primi elektron, uglavnom se percipira kao *sklonost prema elektronima*. Spekuliramo da je jednako značenje riječi *afinitet* u kemijskom i svakodnevnom smislu (*sklonost prema nečemu, op. a.*), imalo pozitivan utjecaj na razumijevanje zadanog termina.

U nastavku će biti analizirani rezultati TB-a.

3.1.3.6.2. Rezultati TB-a

Rezultati TB-a prikazani su u tablici 22.

Tablica 22. Uspješnost rješavanja zadataka koji su vezani uz pojmove elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, elektronski afinitet, ionski karakter veze i duljina veze.

		točno		netočno		djelomično		Ukupno	
		<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
I a)	Zaokružite broj ispred formule za koju mislite da označava kovalentni spoj (BA, CA, CB).	1	2,9	34	97,1	-	-	35	100,0
I b)	Molimo vas, argumentima opravdajte svoj(e) odabir(e).	1	2,9	34	97,1	-	-	35	100,0
I c)	Zaokružite slovo ispred niza molekula koje su poredane prema povećanju ionskog karaktera veze između njihovih atoma.	19	54,3	16	45,7	-	-	35	100,0
II a)	Što predstavljaju crne točke na shematskom prikazu?	33	94,3	2	5,7	-	-	35	100,0
II b)	Što, na svakom od crteža, predstavlja <i>pm</i> vrijednost?	27	77,1	8	22,9	-	-	35	100,0
II c)	Kojom su vezom atomi u zadanim molekulama povezani?	28	80,0	7	20,0	-	-	35	100,0
III a)	Atom kojeg od ponuđenih elemenata, prema vašoj procjeni, ima visok elektronski afinitet i energiju ionizacije?	27	77,1	8	22,9	-	-	35	100,0
III b)	Zaokruži broj iza kojeg je pravilno naznačena vrijednost elektronegativnosti atoma tog elementa.	26	74,3	9	25,7	-	-	35	100,0
III c)	Može li se takav atom kovalentno vezati s atomom nekog alkalijskog elementa?	19	54,3	16	45,7	-	-	35	100,0
IV	Objasni pojam <i>kovalentna veza</i> , uz pomoć originalnog crteža.	3	8,6	21	60,0	11	31,4	35	100,0
V a)	Što je prikazano na ordinati?	11	31,4	24	68,6	-	-	35	100,0
V b)	Što je prikazano na apscisi?	24	68,6	11	31,4	-	-	35	100,0

Točnost studentskih rješenja varira od zadatka do zadatka. Detaljnija analiza rezultata prvog zadatka kojim se, u kontekstu elektronegativnosti, ispitivalo razumijevanje koncepta *kovalentni spoj* i *ionski karakter veze* slijedi u nastavku.

U prvom je zadatku trebalo odrediti koja formula, netipičnim oznakama prikazana, označava kovalentni spoj. Studenti su imali priliku primijeniti znanje o elektronegativnosti ili odredbu da se spoj smatra kovalentnim ako razlika u elektronegativnosti susjednih atoma nije veća od 1,9 ili približne vrijednosti koja se može pronaći u literaturi (1,6 – 2,0). Samo je jedan student točno riješio zadatak zaokruživši slovo ispred formula svih triju spojeva. Na sljedeći je način

obrazložio svoje rješenje: (Atomi zadanih elemenata, op. a.) *imaju dosta velike koeficijente elektronegativnosti* (2,1; 2,5 i 3,5, op. a.) *pa pretpostavljam da su nemetali, a oni tvore kovalentnu vezu*. U svjetlu činjenice da atomi nekih metala imaju elektronegativnost veću od 2,1 (primjerice, platine ili zlata) i da se kovalentnom može smatrati i veza između atoma metala i nemetala u nekim spojevima (primjerice, u beriljevom kloridu), utemeljenost studentovog zaključka može se propitivati. Međutim, valja zaključiti da je u nedostatku podatka o razlici elektronegativnosti koja se koristi za određivanje vrste veze, student primjenom pojednostavljenih modela izveo valjanu pretpostavku.

Iako je približno polovica budućih nastavnika kemije djelomično (18,9 %) ili potpuno ispravno (32,4 %) definirala elektronegativnost, rezultati zadatka I a) ukazuju da im poznavanje značenja tog pojma nije pomoglo u cjelovitom rješavanju problema koji se temelji na elektronegativnosti. U njihovim se promišljanjima uočava logičnost zaključivanja, ali bez razmatranja svih bitnih čimbenika. Naime, većina je studenata kovalentnim označila spoj koji čine atomi s najmanjom razlikom u elektronegativnosti (0,4) argumentirajući to upravo *malom razlikom* odnosno *najbližom* ili *približnom* elektronegativnošću. Za drugi, manji dio studenata, kovalentni je spoj sastavljen od atoma najviše elektronegativnosti. Tako je i Šime, primjerice, argumentirao svoj odabir: *Elektronegativnost raste s porastom rednog broja u periodnom sustavu. S obzirom da je kovalentni spoj veza između nemetala i nemetala, spoj pod 1.* (BA; elektronegativnost atoma B je 2,5, a atoma A 3,5, op. a.) *se nameće kao logičan izbor*. Analizirajući Šiminu definiciju može se spekulirati o logici njegova promišljanja – relativno visoke vrijednosti elektronegativnosti ukazuju da razmatrani atomi pripadaju nemetalima, a budući da je *kovalentna veza, veza između atoma nemetala*, molekula BA je kovalentna. Šimin rezultat, u slučaju BA molekule je valjan.

Valja se osvrnuti i na jedan detalj koji u analizi Šiminog promišljanja nije uzet u obzir. Pretpostavljeno je da Šime nije mislio ono što je prvom rečenicom svog obrazloženja iskazao. Naime, *Elektronegativnost raste s porastom rednog broja u periodnom sustavu*, netočna je izjava. U njoj se trebalo referirati na svaku periodu zasebno (*Elektronegativnost raste s porastom rednog broja kroz periodu, u periodnom sustavu*), a ne na cijeli periodni sustav elemenata. Ovakve semantičke nepreciznosti ne smije se zanemarivati. I kod učenika i kod studenata, a posebice kod budućih nastavnika kemije, nužno je razvijati kulturu cjelovitog i preciznog izražavanja.

Analizom odgovora na prvi zadatak može se zaključiti sljedeće:

a) Dio budućih nastavnika kemije nije uspješan u primjeni znanja o elektronegativnosti. Mnogima od njih nedostaju kompetencije bitne za prepoznavanje *kovalentnih* spojeva.

b) Budući nastavnici kemije zaboravili su podatak o vrijednosti razlike elektronegativnosti atoma u molekuli, uz pomoć koje se, u pravilu, može odrediti vrsta kemijske veze. Umjesto tog podatka, nudili su objašnjenja temeljem kojih su uočena specifična poimanja o svezi elektronegativnosti i kovalentnog vezivanja. Konkretno, dok većina studenata misli da se kovalentnima mogu smatrati samo spojevi građeni od atoma približnih vrijednosti elektronegativnosti, drugi studenti smatraju da su kovalentni samo spojevi sastavljeni od atoma visokog koeficijenta elektronegativnosti.

c) Jedna od rečenica iz uvodnog dijela I. zadatka glasi: *Atomi tih elemenata formiraju molekule BA, CA i CB*. Činjenica da se radi o molekulama implicira da su atomi u njima povezani kovalentnim vezama. S obzirom na to da nitko nije spomenuo niti iskoristio taj detalj u rješenju zadatka, može se zaključiti da je ostao neprimijećen ili da studentima koncept molekule nije potpuno jasan.

U posljednjem dijelu prvog zadatka tražila se primjena značenja pojma *ionski karakter veze*. Problem je učinjen složenijim traženjem da se prepozna niz molekula poredanih *prema povećanju* ionskog karaktera veze. Više od polovine budućih nastavnika kemije (54,3 %) uspješno je riješilo zadatak.

Zanimljivo je primijetiti da je šest studenata odabralo rješenje u kojem je *ionski karakter veze* pravilno upotrijebljen kao kriterij po kojemu su nizane molekule, ali je smjer nizanja bio pogrešan. S obzirom na ograničenja instrumenta, može se samo spekulirati kako za uspješnost rješavanja ovog zadatka, kao i brojnih drugih, presudno može biti (ne)razumijevanje značenja svakodnevnih, uvriježenih termina kao što su: *prema smanjenju, prema povećanju, padajući, rastući, silazni trend* i slično. Iskustva iz vlastite nastavne prakse idu u prilog ovakvoj pretpostavci.

Uz prepoznavanje kovalentnih spojeva, studentima je objašnjavanje pojma *kovalentna veza* crtežom predstavljalo najveći problem. Analiza crteža pokazala je različite tipove neadekvatnih prikaza: a) sadržajno pogrešne prikaze, b) pogreške uslijed zanemarivanja uputa iz zadatka, c) pogrešno poimanje kovalentne veze i d) antropomorfistički pogled na kovalentno vezivanje (Prilog 15). Mali broj valjanih crteža (Prilog 16), upućuje na potrebu češćeg i sustavnijeg komuniciranja crtežima u nastavi kemije.

3.1.3.6.3. Analiza uparenih pitanja iz testova TA i TB

Kako bi se odgovorilo na istraživačko pitanje *U kakvoj je vezi uspješnost rješavanja problema kemijskog vezivanja i razumijevanje ključnih pojmova?*, poslužit će tablica 23. U njoj su prikazani točni i djelomično točni rezultati uparenih pitanja iz TA-a i TB-a. Pitanja su uparena prema kriteriju pojma na koji se odnose. Primjerice, prvim pitanjem iz TA-a se ispitalo razumijevanje pojma *elektronegativnost*, a prvim (pod a) i b)) i trećim (pod b) pitanjem iz TB-a, primjena znanja o elektronegativnosti.

U istoj tablici prikazani su rezultate hi-kvadrat testa i koeficijenti kontingencije (c).

Tablica 23. Postotci točnih i (u zagradama) djelomično točnih odgovora na pitanja iz TA-a i TB-a, uparenih prema kriteriju pojma na koji se odnose, te rezultati hi-kvadrat testa i koeficijenti kontingencije.

Pojam	TA		TB					
	Varijabla	%	Varijabla	%	hi-kvadrat	ss	c	p
Elektronegativnost			Zna prepoznati kovalentni spoj temeljem podataka o elektronegativnosti	2,9	1,97	2	0,23	0,37
	Zna definirati pojam	32,4 (18,9)	Zna argumentirati zašto je neki spoj kovalentan	2,9	3,59	2	0,31	0,17
			Zna procijeniti relativnu vrijednost elektronegativnosti atoma (fluora) koji ima visoki elektronski afinitet i visoku energiju ionizacije	74,3	3,59	2	0,31	0,17
Kemijska veza	Zna definirati pojam	27,0 (45,9)	Zna prepoznati tip kemijske veze između atoma elementarnih tvari halogenih elemenata	80	2,76	2	0,27	0,25
Kovalentna veza	Zna definirati pojam	13,5 (56,8)	Zna procijeniti varijable temeljem kojih neku vezu možemo smatrati kovalentnom	54,3	0,99	2	0,17	0,61
			Zna prepoznati kovalentni spoj temeljem podataka o elektronegativnosti	2,9	0,69	2	0,14	0,71
Elektronski afinitet	Zna definirati pojam	40,5 (24,3)	Zna odrediti atom elementa s visokim elektronskim afinitetom	77,1	4,66	2	0,34	0,10
Ionski karakter veze	Zna objasniti značenje pojma	8,1 (10,8)	Zna poredati molekule prema povećanju ionskog karaktera veze između njihovih atoma	54,3	7,37	2	0,42	0,03
Duljina veze	Zna definirati pojam	29,7 (24,3)	Zna da se u zadanim okolnostima <i>pm</i> koristi kao jedinica za duljinu veze	77,1	2,59	2	0,26	0,27

Analizom podataka utvrđena je statistički značajna povezanost umjerenih vrijednosti između varijabli koje se odnose na objašnjenje pojma *ionski karakter veze* i rješavanja pripadnog zadatka. Ova potvrđena povezanost ne podrazumijeva uzročnost. Korelacijske analize mjere intenzitet povezanosti što znači da i između drugih uparenih pitanja postoji povezanost, ali ona nije statistički značajna.

Razmotrena su tri čimbenika koja su mogla utjecati na opisani rezultat. To su: (a) deklarativno znanje o zadanim pojmovima, a time i nemogućnost primjene znanja, (b) povezanost uparenih zadataka iz TA-a i TB-a i (c) veličina uzorka.

(a) Uspješno definiranje pojma ne implicira konceptualno razumijevanje. Stoga nije neobično što je znatno veći broj budućih nastavnika kemije uspješnije definirao *elektronegativnost* nego, temeljem podataka o elektronegativnosti, prepoznao kovalentni spoj.

(b) Problem povezanosti pitanja iz TA-a i TB-a opisan je u odjeljku o ograničenjima istraživanja pa ovdje neće biti ponovno objašnjavan. Osim njega, izostanak statističke veze između znanja definiranja ključnog pojma i rješavanja pripadnog zadatka može uzrokovati nerazumijevanje perifernih pojmova, vezanih s ključnim pojmom u zadatku, nesnalaženje u kontekstu zadataka i problemi s načinima komunikacije. Jesu li ti čimbenici uistinu utjecali na rezultat istraživanja i ako jesu, u kojoj mjeri je to izraženo, nije moguće utvrditi.

(c) S obzirom na malu veličinu uzorka, postavlja se pitanje statističke snage testa. Snaga testa je funkcija ovisna o tri primarna i jednom sekundarnom čimbeniku: veličini uzorka, veličini učinka, razini značajnosti i snazi korištenog statističkog testa. Provedba ovog istraživanja na većem broju studenata rezultirala bi uvjerljivijim zaključcima o statističkom značaju povezanosti promatranih varijabli.

Iz rezultata (tablica 23) je vidljivo da veliki broj budućih nastavnika kemije ima poteškoća s definiranjem temeljnih pojmova te da u slučaju *ionskog karaktera veze*, *duljine veze* pa čak i *elektronskog afiniteta* te *kovalentne veze* (ako ne uzmemo u obzir djelomično točne odgovore), uspješnije rješavaju složenije probleme nego što definiraju njihovo značenje.

Situacija je drugačija s rezultatima koji se odnose na pojam *elektronegativnost*. Budući nastavnici kemije manje su uspješni u primjeni znanja o značenju tog pojma u kontekstu kovalentnog spoja, nego u njegovu definiranju. S druge strane, $\frac{3}{4}$ budućih nastavnika znalo je procijeniti elektronegativnost zadanog kemijskog elementa. Može se spekulirati da su u tome uspješni jer se radi o fluoru, najelektronegativnijem elementu, koji je poznat upravo po tom svojstvu.

Dobiveni rezultati otvaraju nova pitanja: Zašto budući nastavnici kemije imaju poteškoća s definiranjem relativno uvriježenih pojmova iz područja kemijskog vezivanja?; Zašto su neki od njih uspješniji u rješavanju složenijih zadataka nego u definiranju temeljnih pojmova?; Ako studenti znaju riješiti nastavni problem, trebaju li znati definirati pojmove na kojima se problem temelji? Što treba promijeniti u poučavanju da bi studenti uspješnije definirali pojmove i rješavali konceptualne probleme iz područja kemijskog vezivanja? Na ova pitanja može se odgovoriti samo provedbom novog, kvalitativnog istraživanja. Ono što se ovdje može razmotriti jest valjanost premise da je opis značenja pojma pokazatelj deklarativnog znanja. Naime, reprodukcija podrazumijeva znanje najniže razine. Međutim, treba uzeti u obzir da su definicije ključnih pojmova studenti posljednji put *usvajali* na prvoj godini studija, u okviru predmeta *Opća kemija*. Možda sada, četiri godine kasnije, na posljednjoj godini diplomskog studija, neki studenti ne reproduciraju već generiraju definicije temeljem znanja o razmatranoj problematici. U takvim slučajevima definiranje pojma može biti jednako velik, ako ne i veći izazov, od rješavanja odgovarajućeg zadatka.

U nastavku će biti navedene spoznaje do kojih se došlo odgovarajući na drugo istraživačko pitanje: *Koji se jezični problemi budućih nastavnika kemije mogu prepoznati analizom odgovora uparenog testa o kemijskom vezivanju?*

Prije svega, uočeno je da neki od budućih nastavnika kemije imaju problema s definiranjem zadanih pojmova. U njihovim se definicijama mogu prepoznati problemi smisla (*ionski karakter veze je veza...*), problemi (ne)određenosti (*ionski karakter veze je kada je...*) i problemi značenja (*elektronegativnost je isto što i elektronski afinitet*). Čini se da uporaba riječi koja ima isto značenje u svakodnevnom životu i u znanosti (poput riječi *afinitet*) doprinosi lakšem razumijevanju značenja znanstvenog pojma (primjerice, razumijevanju elektronskog afiniteta). Nadalje, pokazalo se da su pojedinci izraz *prema povećanju*, kod nizanja molekula s obzirom na ionski karakter veze među njihovim atomima, protumačili u suprotnom značenju (prema smanjenju). Rezultati sugeriraju da su simbolički prikazi molekula elementarnih tvari, kao dio jezika kemije, pozitivno utjecali na razumijevanje i uspješno rješavanje problema vezanog uz *duljinu (kovalentne) veze*. Konačno, pokazalo se da nekolicina studenata zamjenjuje značenja pojmova *apscisa* i *ordinata*.

Evidentirane jezične poteškoće jedan su od uzroka relativno male uspješnosti studenata u definiranju pojmova i rješavanju problema iz TB-a. Upoznavanje s opisanim problemima može pozitivno utjecati na porast svijesti o važnosti valjane i precizne uporabe jezika u nastavi o

kemijskom vezivanju. Rezultati upućuju da, u cilju povećanja efikasnosti nastave, posebnu pozornost treba posvetiti problemima smisla, neodređenosti i značenja definicija.

3.1.3.7. Zaključak

Ovim istraživanjem nije utvrđena čvrsta veza između razumijevanja pojmova *elektronegativnost*, *kemijska veza*, *kovalentna veza*, *elektronski afinitet* te *ionska veza* i uspješnosti rješavanja nastavnih zadataka koji se temelje na tim konceptima. Ispitanici su uglavnom imali više poteškoća s definiranjem i objašnjavanjem pojmova nego s rješavanjem složenijih zadataka. Uočeni i opisani problemi nerazumijevanja i neadekvatnog definiranja pojmova *elektronegativnost*, *kemijska veza*, *kovalentna veza*, *elektronski afinitet*, *ionski karakter veze* i *ionska veza* te prepoznate jezične prepreke, doprinos su MZ-u o kemijskom vezivanju u području znanja o razumijevanju studenata.

3.1.3.8. Implikacije za nastavu

Rezultati upućuju na potrebu restrukturiranja znanja o kemijskom vezivanju budućih nastavnika kemije. Posebnu pozornost treba posvetiti konceptualnom razumijevanju temeljnih pojmova. To podrazumijeva primjenu strategija aktivnog učenja. Pri tome treba osvijestiti postojanje studentskih/učeničkih problema smisla, neodređenosti i značenja definicija.

Također, važno je voditi računa o promišljenoj uporabi znanstvenog i simboličkog jezika, ali i svakodnevnih pojmova, bez obzira imaju li u znanosti i svakodnevnom okruženju jednako ili različito značenje. To posebno vrijedi za pojmove koji su u ovom istraživanju označeni kao potencijalne jezične prepreke.

3.1.4. Razumijevanje riječi i simbola te svijest budućih nastavnika kemije o učeničkom znanju – kvalitativna analiza

Kako bi se bolje razumjela problematika jezika u učenju i poučavanju kemije, u ovom će odjeljku biti prikazani i interpretirani rezultati dvaju dubinskih intervjuja i fokusne grupe u kojima su sudjelovali budući nastavnici kemije s PMF-a u Splitu.

3.1.4.1. Istraživačko pitanje

Kvalitativna komponenta dopuna je, u prethodnim odjeljcima elaboriranoj, kvantitativnoj komponenti istraživanja o jeziku u učenju i poučavanju kemije. Stoga će i kvalitativni podatci biti razmotreni u svjetlu (pet) istraživačkih pitanja koja se odnose na prvu cjelinu ove disertacije.

3.1.4.2. Dijagnostički instrument

U ovom dijelu istraživanja o jeziku nastave kemije upotrijebljena su dva dubinska, polustrukturirana intervjuja i fokusna grupa. U nastavku će biti opisane njihove značajke.

3.1.4.2.1. Prvi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Prvi intervju (prilog 7) odnosi se na rezultate UOUR-a i UPZ-a. Organiziran je u tri dijela. Prvim dijelom ispitivano je mišljenje studenata o složenosti pojmova upotrijebljenih u UPZ-u i kriterijima za procjenu učeničkog razumijevanja zadanih pojmova. Željelo se utvrditi, jesu li studenti tijekom provedbe OZO-metode mijenjali kriterije i ako jesu, zašto jesu, te je li suočavanje s potrebom objašnjavanja značenja zadanih pojmova (u UPZ-u) utjecalo na promjenu kriterija procjene učeničkog razumijevanja. U drugom je dijelu izdvojeno sedam do osam riječi za koje su procjenu učeničkog razumijevanja, sudionici intervjuja najznačajnije promijenili. Cilj je bio utvrditi razloge tih promjena. Konačno, u trećem dijelu intervjuja, sudionicima je dana kartica s popisom pojmova čiju su složenost u prvom i drugom UOUR-u različito procijenili (izdvojeni su samo oni kod kojih je razlika u prosudbi razumijevanja bila veća od 30 %). Sudionici su zamoljeni da pojmove razvrstaju u četiri kategorije prema rastućoj *složenosti značenja*. Cilj je bio prepoznati studentima najproblematičnije pojmove, spoznati kako percipiraju pojmove koji se koriste u učenju i poučavanju o kemijskom vezivanju i usporediti obrasce studentskog klasificiranja pojmova s Wellingtonovom taksonomijom riječi prema kojoj je apstraktnost pojma ključni čimbenik složenosti njegova značenja. Kako bi pažnja bila fokusirana na istraživačka pitanja, navedena usporedba neće biti raspravljana u ovom radu.

3.1.4.2.2. Drugi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Drugi intervju (prilog 8) organiziran je na sličan način i sa istim ciljevima kao i prva dva dijela Prvog intervjuja. Razlika je tek u tome što se u Drugom intervjuu fokus proširio i na rezultate TA-a i TB-a. Njime se pokušalo steći dublji uvid u a) procjenu i promjenu očekivanja učeničkog razumijevanja i b) razumijevanje značenja određenih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju o kovalentnom i ionskom vezivanju. U posljednjem, trećem dijelu Drugog intervjuja istraženi su potencijalni uzroci problema neadekvatnog razumijevanja zadanih pojmova.

3.1.4.2.3. Fokusna grupa o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Protokol za fokusnu grupu (prilog 9) sadrži elemente protokola za Drugi intervju i protokola za Prvi intervju. Sastoji se od tri dijela. U prvom i drugom dijelu istraživano je iskustvo sudionika stečeno popunjavanjem UOUR-a, UPZ-a, TA-a i TB-a. U trećem dijelu ispitanicima je dana *kartica A* s trideset pojmova odabranih iz prethodno popunjavanih upitnika i te su zamoljeni da izdvoje one koje smatraju najzahtjevnijima za (i) vlastito razumijevanje, (ii) razumijevanje učenika i (iii) za poučavanje. Na taj se način nastojalo utvrditi kako (neki) studenti razmišljaju o značenju pojedinih pojmova, zašto ih smatraju zahtjevnima i kojim elementima pridaju ključni značaj u prosudbi njihove složenosti. U posljednjoj fazi studentima je dana *kartica B* s tablicom u kojoj je dio pojmova naveden u *kartici A* bio razvrstan prema kriteriju Wellingtonove taksonomije. Zatraženo je da pojmove koje su u prethodnom koraku označili zahtjevnima, a nisu navedeni u spomenutoj tablici, smjeste, prema vlastitoj procjeni, na odgovarajuća mjesta. Na taj se način htjelo utvrditi slijede li studenti Wellingtonov obrazac za taksonomiju znanstvenih riječi. Kao što je istaknuto u opisu značajki Prvog intervjuja, zbog usmjerenosti na istraživačka pitanja u ovom radu neće biti prikazani ni raspravljani rezultati koji se odnose na studentsku kategorizaciju pojmova.

3.1.4.3. Sudionici istraživanja

U intervjuima i fokusnoj grupi sudjelovali su samo studenti druge godine diplomskog studija. Oni su odabrani jer su u fokusu ove disertacije budući nastavnici kemije i zato što studenti druge godine nisu sudjelovali u raspravi (posljednjem dijelu OZORO-metode). To je omogućilo da se, bez zasjenjenja, istraži utjecaj izlaganja UPZ-u na porast svijesti studenata o poteškoćama s razumijevanjem riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije.

S obzirom na to da je razmatrana populacija relativno mala (21 student) te da je ovaj kvalitativni dio prve cjeline istraživanja proveden kao dio mješovite metode, prvenstveno s

ciljem dubljeg uvida u problem, inicijalno je odlučeno da u dva (Prvi i Drugi), tek djelomično različita intervjua, sudjeluje petero studenata. Tako su u Prvom intervjuu sudjelovala tri, a u Drugom dva studenta. Iako broj sudionika intervjua nije bio velik, nakon analize rezultata intervjua zaključeno je da intervjuiranje novih studenata nije potrebno. U provedbi fokusne grupe, sudjelovala su četiri studenta.

3.1.4.4. Prikupljanje i analiza podataka

Prilikom delegiranja studenata za intervju i fokusnu grupu poštovano je načelo dragovoljnosti. Provedeno je ciljano uzorkovanje. Odabrane su komunikativne osobe motivirane za budući rad u školi koje su u UOUR-ima iskazale različite procjene i rješavanjem zadataka iz UPZ-a, postigle različite rezultate. Jasno je da student, zbog moći nastavnika i njegova duboka interesa za problem, teško može biti potpuno otvoren tijekom intervjua s njim (Seidman, 2006). Ta se poteškoća nije mogla izbjeći, već samo ublažiti. Prije nego li su studenti upitani o spremnosti sudjelovanja u intervjuu, bili su upoznati s činjenicom da će intervju s njima, uz neovisnog istraživača, voditi i predmetni nastavnik – autor ove disertacije. Od pet intervjua, tri je vodio predmetni nastavnik. Kako bi dodatno smanjio mogući utjecaj na iskaze studenata, predmetni nastavnik intervjuirao je one studente koji su već ranije iskazali sklonost otvorenoj raspravi i javnom iznošenju mišljenja te su se pokazali samopouzdanima.

Intervjui su bili polustrukturiranog tipa. Kako bi se što manje utjecalo na dnevni ritam studenata, intervjui su provedeni u pauzama između predavanja, odnosno odmah nakon nastave. Provedba (jednog) Prvog intervjua trajala je oko 30 minuta, a Drugog intervjua i fokusne grupe, oko 45 minuta. Fokusna grupa imala je dva voditelja. Provedena je prema protokolu za fokusnu grupu i dvjema karticama za sudionike.

Svi intervjui, kao i fokusna grupa, snimljeni su u audio formatu i transkribirani. Obavljeno je kodiranje, razvrstavanje i kategorizacija podataka. Zaključci su izvedeni u obliku priče. Pri tome se slijedilo pojmove istraživačkog problema uz dodavanje izjava sudionika. U pisanom su izvještaju kodovi sudionika zamijenjeni pseudonimima.

3.1.4.5. Ograničenja rezultata

Činjenica da predmetni nastavnik vodi intervju i fokusnu grupu u kojima sudjeluju njegovi studenti, može utjecati na otvorenost sudionika, a time i na rezultate primijenjenih kvalitativnih metoda.

3.1.4.6. Rezultati i rasprava

Da bi stečene spoznaje bile preglednije prikazane, organizirane su prema jedinicama analize koje su, radi jednostavnosti, navedene u obliku pitanja:

1. Jesu li pojmovi korišteni u UOUR-ima i UPZ-u u prosjeku složeniji od onih koji se uvriježeno koriste u nastavi kemije?
2. Kakav stav sudionici intervjua i fokusne grupe imaju o složenosti teme *Kemijsko vezivanje*?
3. Kojim su se kriterijima za procjenu učeničkog razumijevanja pojmova u prvom i drugom UOUR-u sudionici intervjua i fokusne grupe rukovali?
4. Koji su razlozi promjena procijenjenog učeničkog razumijevanja zadanih pojmova?
5. Kako sudionici procjenjuju složenost značenja pojmova koji se rabe u nastavi kemije?
6. Je li upitnike o jeziku bilo naporno popunjavati?
7. Imaju li studenti koristi od popunjavanja upitnika o jeziku?
8. Koja područja kemije studenti smatraju najzahtjevnijima?
9. Misle li studenti da imaju problema s izražavanjem crtežom?
10. Koji su uzroci (ako su prepoznati) pogrešno određenih značenja zadanih pojmova?
11. Kako intervjuirani studenti definiraju *ionsku vezu*?
12. Što za intervjuirane studente znači *pucanje veze* i kako opisuju energijske promjene koje se pri tome zbivaju?
13. Imaju li intervjuirani studenti problema sa simboličkim jezikom?
14. Kakva je veza između poznavanja značenja pojma iz područja kemijskog vezivanja i uspješnosti rješavanja problema u kojem taj pojam ima ključnu ulogu?
15. Koje su odlike nastave kemije (posebice nastave o kemijskom vezivanju) u kojoj su sudionici intervjua i fokusne grupe tijekom studiranja sudjelovali?

Pitanja su s obzirom na problem propitivanja grupirana u područja (tablica 24).

Tablica 24. Grupiranje jedinica analize (iskazanih pitanjima) po područjima (kategorijama)

Područje (kategorija)	Broj pitanja (jedinica analize)
Reprezentativnost zadanih pojmova	1
Složenost kemijskih koncepata	2, 8
Kriteriji procjene učeničkog razumijevanja	3, 4, 5
Nastavne koristi (MZ)	7
Razumijevanje pojmova	9, 10, 11, 12, 13, 14
Iskustvo nastave kemije	15

U nastavku će, numeričkim slijedom, biti prikazani i sažeto interpretirani najvažniji rezultati.

1. Studenti smatraju da složenost pojmova iz UOUR-a i UPZ-a u prosjeku nije drugačija od složenosti pojmova koji se koriste u nastavi kemije. Ana je ipak nadodala da je u upitnicima bilo i pojmova koji su *puno kompliciraniji od onih koji se upotrebljavaju u nastavi*. Primjerice, *riječ korpuskularno se rijetko kad koristi tako da meni ta riječ predstavlja problem*. Iz citiranog je vidljivo da Ana složenima smatra one pojmove koji se neučestalo upotrebljavaju, odnosno one koji njoj predstavljaju problem.
2. Stav oko složenosti teme *Kemijsko vezivanje* nije ujednačen. Postoje dva suprotna stajališta. Dok je, prema jednim, *kemijsko vezivanje* jedna od najzahtjevnijih tema u nastavi kemije, postoji i mišljenje da ta tema *možda i nije zahtjevnija od drugih jer uz raznorazne modele i animacije i simulacije učenici te sadržaje mogu lako vizualizirati*.
3. Ana je očekivanja o učeničkom razumijevanju zadanih pojmova temeljila na procjeni vlastitog znanja u toj dobi i znanja učenika te dobi. Nakon suočavanja s upitnikom u kojem je sama trebala objasniti zadane pojmove (UPZ-om), kriterij procjene učeničkog predznanja je, kako kaže, malo postrožila: *Došlo je do male promjene ocjena zbog toga što sam vidjela koliko meni neke riječi predstavljaju problem kad ih treba objasniti*. Iako je tvrdila da se i u drugom UOUR-u rukovodila procjenom vlastitog i učeničkog znanja u toj dobi, iz prethodne je rečenice vidljivo da složenost pojedinog pojma prosuđuje i prema vlastitoj uspješnosti definiranja i razjašnjavanja njegova značenja. To potvrđuje i sljedećim obrazloženjem promjene kriterija prosudbe učeničkog razumijevanja zadanih pojmova: *Nekakvo iskustvo koje sam stekla kod prvog upitnika (UOUR-a, op. a.) poslužilo mi je kao kriterij u drugom, odnosno trećem upitniku*.

Šime se također rukovodio istim razlozima. On je, naime, *shvatio da studenti imaju puno poteškoća s objašnjavanjem nekih pojmova pa će onda imati i djeca (s razumijevanjem tih pojmova, op. a.)*.

Za razliku od Ivane koja je dosljedno sudila po znanju kojeg je imala kao učenica, Dora je promijenila kriterij procjene u drugom UOUR-u: *Kad smo dobili onaj prvi, razmišljala sam što bi učenici trebali znati i što smo mi znali u to vrijeme. Ali, nakon što smo ga dobili drugi put, onda sam procjenjivala na temelju toga koliko ja uopće razumijem te pojmove*.

Marina se prilikom procjenjivanja učeničkog poznavanja značenja zadanih pojmova vodila svojim *nekakvim mentalnim sklopom i shvaćanjem u ono doba*, misleći pritom

na vlastito razumijevanje značenja tih pojmova u dobi kada je o njima učila u školi. Ne misli da je UPZ u kojem je, između ostalog, morala definirati i objasniti značenje brojnih pojmova, odnosno osviještenost o njihovoj (ne)složenosti, utjecao na promjenu kriterija prosudbe u drugom UOUR-u. Ipak, nakon što joj je ukazano da je u mnogo slučajeva u drugom UOUR-u značajno promijenila iskaz očekivanja učeničkog poznavanja značenja pojedinih pojmova u odnosu na prvi UOUR, nesigurno je prozborila da je *možda taj veliki test* (UPZ, op. a.) *ipak utjecao* na promjenu u prosudbi. Neka odstupanja u procjeni učeničkog razumijevanja pojmova mogu se smatrati značajnima. Primjerice, prosudba učeničkog razumijevanja riječi *kristal* porasla je s vrijednosti 4 (prvi UOUR) na 8 (drugi UOUR). Razlika od vrijednosti 1 (prvi UOUR) do 10 (drugi UOUR) za procjenu razumijevanja riječi *formula*, bila je još drastičnija. Marina misli da je na to možda utjecalo iskustvo rada s djecom u školi. Naime, između provedbe prvog i drugog UOUR-a, nazočila je oglednim satovima u školi, odnosno održala je vlastiti nastavni sat. Inače, u tom periodu, u školi se nije spominjalo značenje riječi *kristal* i *formula*.

Marina nije pokazala dosljedan smjer promjene prosudbi. Primjerice, pojam *koeficijent* u prvom je UOUR-u procijenila vrijednošću 3, a u drugom UOUR-u vrijednošću 8. Procjena razumijevanja pojma *modifikacija* je s 9 iz prvog UOUR-a pala na 3 u drugom UOUR-u. Marina pretpostavlja kako je te vrijednosti procijenila prema zvučnosti pojma: *Možda mi je to na prvu ruku zvučalo; možda mi je kod koeficijenta zvučalo malo teže u prvom nego u drugom, a opet, možda je modifikacija zvučala malo lakše u prvom testu nego u drugom*. Marina se, dakle, u procjeni učeničkog razumijevanja rukovodi proizvoljnim kriterijima pa velika odstupanja druge od prve procjene nisu iznenađujuća.

Klara je veliku razliku u procjeni učeničkog razumijevanja pojma *koeficijent* (s 8 na 2) objasnila snagom promjene (iznenađenjem) koju (kojeg) je ona doživjela kada je shvatila njegovo puno značenje. *Zato je velika razlika, zaključila je. Meni je to odmah dvica; nije baš da nitko ne razumije, ali, ono, većina to sigurno ne razumije*. Marija bi, da sada može procijeniti učeničko razumijevanje tog pojma, snizila svoju procjenu jer smatra da *postoji velik broj ljudi koji misle da znaju što znači koeficijent, a zapravo ne znaju*. U svojoj se procjeni rukovodila *zastupljenošću u standardnom govoru i svakodnevnim situacijama (kladionice, TV emisije, sportovi...)*.

Klara ističe da su joj *apstraktni pojmovi bili najteži od svega te da, nakon svega, još uvijek ne može približiti apstraktne pojmove učenicima*. U usporedbi s njima, konkretni pojmovi su joj se učinili lakši. Stoga je, primjerice, značenje pojma *kristal* smatrala lako razumljivim (*Vide oni taj kristal, mali, kuhinjske soli...*). Taj je kriterij dosljedno primjenjivala u svim UOUR-ima. Sličnim se motivima vodila i Marija. Obrazlažući svoju procjenu poznavanja značenja pojma *konformacija* istakla je da se radi o *poprilično apstraktnom pojmu*. Ona misli da će *đaci prije shvatiti značenje neke riječi koja se koristi u svakodnevnom životu ili koja se može donekle vizualizirati*. Međutim, iako ističe da, primjerice, *značenje riječi sila ovisi o kontekstu u kojem se upotrebljava*, očekivanje da će svi učenici razumjeti značenje pojma *relativan* u kontekstu rečenice *Elektronegativnost je relativan koncept*, opravdava pojavljivanjem te riječi u svakodnevnom govoru (*Nisu mogli ne čut tu riječ, zato sam dala 10.*) ne uzimajući u obzir značenje istog u zadanom kontekstu. Na koncu navodi: *Ako čak to i gledam u kontekstu ove rečenice, ne znam jel' ja znam što to znači*.

Podatci prikupljeni intervjuima ilustriraju da budući nastavnici kemije nemaju čvrste predodžbe o učeničkom razumijevanju odabranih pojmova. Kao glavni kriterij prosudbe navode vlastito znanje o tim pojmovima u dobi kada su ih oni usvajali u školi i pretpostavke što bi učenici trebali znati. Međutim, podatci sugeriraju da studenti kao osnovu za procjenu učeničkog poznavanja značenja uzimaju razinu apstrakcije i zastupljenost pojma u svakodnevnom životu. Svakodnevno značenje neki pretpostavljaju kemijskom, iako je pojam zadan u stručnom kontekstu. Promjenu kriterija u drugom UOUR-u, u odnosu na prvi UOUR, objašnjavaju utjecajem UPZ-a, iskustvom u radu s djecom kojeg su tijekom nekoliko nastavnih sati u međuvremenu stekli i faktorom zvučnosti pojedinog pojma (neki im pojam zvuči jednostavnije, a drugi složenije). Neki intenzitet promjene procjene vezuju uz stupanj iznenađenosti stvarnim značenjem tog pojma.

4. Iako se, želeći utvrditi razloge konkretnih promjena, za svakog sudionika intervjuja, temeljem podataka iz prvog i drugog UOUR-a, izdvojilo 7 – 8 riječi čiju su procjenu učeničkog razumijevanja značenja najznačajnije promijenili, do novih se spoznaja nije se došlo. Nakon postavljenih upita, sudionici nisu detaljno analizirali vlastitu procjenu učeničkog razumijevanja svakog pojedinog pojma već su uglavnom nudili općenite argumente. Primjerice, na upit o razlozima značajne promjene procjene učeničkog poznavanja značenja pojma *nabojni broj* (s 4 na 9) sudionik je odgovorio: *Mislim da bi*

*učenici to mogli (razumjeti, op. a.) jer u sedmom se radi čak i s nabojnim brojevima tako da ja i kolega smo držali vježbe, odnosno sat ponavljanja u vezi tih nabojnih brojeva i sličnih stvari, tako da dobro barataju učenici s tim. Iako nije dobiven odgovor utemeljen na semantičkoj analizi pojma razmatranog u odgovarajućem kontekstu, evidentirano je konkretno osobno iskustvo kao čimbenik koji utječe na stav budućeg nastavnika kemije o učeničkom poznavanju značenja pojma *nabojni broj*.*

Klara trend smanjenja vrijednosti procjene učeničkog poznavanja značenja evidentiran analizom upitnika očekivanja smatra logičnim. Između prvog i drugog UOUR-a, a posebno prije trećeg, studenti su raspravljajući uočavali gdje su griješili prilikom definiranja zadanih pojmova pa je *bilo logično da je pala brojka* (kojom se iskazuje broj učenika koji poznaju značenje konkretnog pojma, op. a.). Do iste spoznaje dolazi se i u dijelu intervjua u kojem se od sudionika traži objašnjenja značenja pojedinih pojmova. Često bi se ispostavljalo da ona nisu ni precizna ni cjelovita. Kada bi se vođenim razgovorom stiglo do potpunog objašnjenja, od sudionika je zatražena nova procjena učeničkog poznavanja značenja odabranog pojma. U svim slučajevima procjene su bile strože. Klara je, tako, očekivala da svi učenici poznaju značenje pojma *kristal*. Kratko usuglašavanje o značenju tog pojma zaključeno je sljedećim dijalogom:

Intervjuist: *Čini li vam se sad, nakon ovog našeg kratkog razgovora, da svi učenici znaju značenje riječi kristal?*

Klara: *Pa ne znaju sad; sad možda bi snizila malo na osmicu* (8 od 10 učenika, op. a.) *neku, eto.*

Ovaj primjer jasno ukazuje da su sudionici učeničko poznavanje značenja procjenjivali prema svom znanju.

5. Marina je, primjerice, složenost značenja pojmova određivala prema učestalosti njihova pojavljivanja u nastavi kemije. Pojmove s dvojakim, svakodnevnim i kemijskim značenjem, smatrala je posebno zahtjevnima za razumijevanje. Po njezinom modelu prosudbe učenici će (podsjetimo se, ispitivanje je usmjereno na učenike koji završavaju prvi razred gimnazije) imati više problema sa značenjem pojmova *proporcija*, *koeficijent* ili *elementarno* nego sa značenjem pojma *naboj*. Smatra da učenicima *znaju biti teže te riječi koje se koriste u svakodnevnom govoru, a treba ih opet nekako prebaciti u kemiju*. Pojam *simultano* smatra još složenijim. U istu grupu svrstava pojam *planarno*, a najslloženijim smatra pojam *korpuskularno*. Smatra da su to *komplirane*

riječi jer je (njihovo značenje, op. a.) malo prekomplicirano za predočiti. Pod kompliciranima smatra one riječi s kojima se nije ranije susretala.

Ana pojmove *simultano* i *modifikacija* smatra jednostavnijim od pojmova *energija* i *sila* jer bi posljednja dva malo teže definirala, odnosno teže bi ih objasnila nego modifikaciju. Pojam *naboj* ne smatra složenim jer nalazi vezu između njegova svakodnevnog i kemijskog značenja: ...*Jedan drugom kažu, ti si pozitivan ili ti si negativan, ima tu nešto, dakle nekakvo zračenje tjelesno, osobnost nekakva što bi njih (učenike, op. a.) moglo navesti na poimanje tog značenja i u kemiji.* Zanimljivo Anino promišljanje da bi učenici mogli lako razumjeti što je naboj samo bi ga ona malo teže mogla objasniti, nije bilo moguće razjasniti. Složenijima od prethodno spomenutih Ana smatra pojmove *sila*, *nukleonski broj* i *propan-1,2,3-ol*, a najslženijima riječi *planarno*, *korpuskularno* i *trigonska bipiramida*. *Korpuskularno* smatra složenim pojmom jer je imala drugačiju predodžbu o njegovom značenju, a *planarno* je dio vezan za stereokemiju, a cijelo to poglavlje stereokemije je teško za razumjeti.

Poznavanje ili nepoznavanje značenja pojma najčešći je čimbenik prema kojem studenti procjenjuju njegovu složenost. Primjerice, većina sudionika fokusne grupe *dezintegraciju* svrstava među najkompleksnije pojmove jer im taj pojam nije poznat niti ih asocira na nešto poznato. *Ne mogu sebi u glavi posložiti što je to dezintegracija. Nemam nikakvu asocijaciju, ništa,* Ivana je objasnila zašto ga ne razumije. Marta ne zna značenje pojma *direktna proporcionalnost*: *Znam što znači proporcionalnost, ali ne znam kakva je to direktna proporcionalnost. Je'l to sad nešto drugačije ili što? Čini se da pridjev dodan imenici, a da joj ne mijenja ili ne nadopunjuje značenje, može zbunjivati pojedine studente. Zaista, zašto bi se inzistiralo na direktnoj proporcionalnosti, ako to znači isto što i proporcionalnost?* Dora također sudi o složenosti pojmova prema svom znanju. Smatra da je riječ *apscisa* vrlo kompleksna: *Znam što je X i Y i znam nacrtati kada je zadano X i Y, ali kad mi kaže "nacrtaj na apscisi", ja ću stajati i gledati. O Isuse dragi, to sam sto puta čula i ja još uvijek ne znam koja je X, a koja Y.* Rezultati TB-a pokazuju da i drugi studenti imaju problema s nazivima koordinatnih osi. Stoga ovaj problem zavrjeđuje dodatnu pozornost u nastavi kemije.

Šime složenima smatra pojmove *spin* i *energija*. Znanstveno značenje pojma *energija* smo gotovo svi zaboravili, ističe, računajući da svi misle da znaju njegovo značenje s

obzirom na to da ga često i jednostavno upotrebljavaju u svakodnevnom životu i nastavi.

Slično razmišlja i Klara: *Kad smo morali definirat neke pojmove, energija, konfiguracija, spin i takve stvari, to smo dosad uzimali zdravo za gotovo ne razmišljajući o tome, a sad kad moramo to sročiti, to mi se puno teže učinilo nego prije.* Šime i Klara su istakli da su im *najteži* bili apstraktni pojmovi. Marta složenima smatra one koje je teško povezati sa svakodnevnim životom.

Na sličnom tragu je i Marko, koji izdvaja *elektronegativnost* kao pojam zahtjevan za razumijevanje i poučavanje: *Mi stalno nekako spominjemo tu elektronegativnost, tko je više elektronegativan, a tko manje i svi znamo što je elektronegativnost, ali je zapravo ne znamo definirati. Ja to sudim po sebi. Ne znam definirati pojam elektronegativnost. Mogu razlikovati one koji su više elektronegativni od onih koji su manje, ali ne znam kako bih to definirao. Ja to miješam s afinitetom za elektrone i ne znam je li to sposobnost vezanja ili... To ne mogu nikako posložiti. Mislim da je djeci to isto teško za shvatiti.*

Navedeni primjeri ilustriraju da je vlastito (ne)poznavanje značenja odnosno nemogućnost definiranja, temeljni kriterij po kojem su sudionici procjenjivali složenost pojmova koji se koriste u nastavi kemiji. Većina posebno zahtjevnima označava apstraktne pojmove. *Kemijska veza, energija, elektronegativnost i spin*, samo su neki od apstraktnih pojmova iz područja kemijskog vezivanja koje studenti doživljavaju kompleksnima. Jasno je iskazana potreba njihova kvalitetnijeg objašnjavanja. Za neke sudionike, složenost pojmova obrnuto je proporcionalna s učestalošću njihova pojavljivanja u nastavnim sadržajima. Nadalje, svakodnevne riječi u kemijskom kontekstu pojedinci smatraju složenijima od konceptualnih pojmova kemijskog značenja. Pritom ne primjećuju da neke od odabranih svakodnevnih riječi imaju isto značenje u kemiji i u svakodnevnom životu.

6. Klara smatra da je *užasno naporno* bilo popunjavati upitnike o jeziku te da se u njima *tražilo dosta razmišljanja*. Šime se iznenadio koliko je to naporno bilo. Očekivao je *da će neki pojmovi biti puno jednostavniji i puno lakši za objasniti nego što su bili*. Marija ne smatra popunjavanje upitnika o jeziku jako zahtjevnim iako ističe da *neke najjednostavnije pojmove nije znala definirati*. Svi su sudionici fokusne grupe popunjavanje upitnika iz OZO-niza doživjeli kao naporan zadatak. Željka misli da je

8:00 sati ujutro, rano za popunjavanje takvog upitnika. Takva izjava može ukazivati da je rad s upitnicima u kognitivnom smislu uistinu bio zahtjevan.

7. Studenti popunjavanje upitnika o jeziku smatraju korisnim iskustvom. Marta, doduše, ne može procijeniti u kojoj mjeri je to za nju bilo korisno, ali je sigurna *kako je shvatila da neke stvari za koje je mislila da ih zna, zapravo ne zna, odnosno da ih ne zna definirati*. Dora je zahvaljujući popunjavanju UPZ-a shvatila da ne zna što je *težište*, a Marko da ne zna definirati *kemijske veze*. Šime ne dvoji oko koristi koju je stekao popunjavajući i analizirajući upitnike. Smatra da bi *trebalo puno više takvih aktivnosti da postanemo svjesniji što nas čeka u učionici*. Nakon svega, Šime je dodao da *nekim pojmovima još uvijek ne zna značenje, poput pojma korpuskularno, čije mu je značenje stvarno teško bilo, i pojma trigonska piramida*. Klara također vidi veliku korist od promišljanja o značenju pojmova koji se koriste u nastavi kemije. *Kad se nađem u razredu, na te ću stvari obratiti pozornost i pokušati ih približiti učenicima*. Šimin i Klarin zaključak pokazatelj je porasta svijesti o važnosti pridavanja pozornosti jeziku u nastavi, a ujedno i pokazatelj porasta MZ-a.
8. Studenti misle da su najzahtjevniji dijelovi nastave kemije vezani uz redoks reakcije, kemijsko vezivanje i valencije. Šime ističe da su *apstraktni koncepti najzahtjevniji* i navodi, u okviru elektronske konfiguracije, primjere koje će učenici teže shvatiti poput pojma *oblak* (odnosi se na oblak elektrona, op. a.) ili pojma *ljuska* (odnosi se na elektronske ljuske, op. a.) *jer je to nešto zamišljeno*, a brine ga i opasnost da učenici značenje tih riječi shvate doslovno (u njihovom svakodnevnom značenju, op. a.).
9. Sudionici smatraju da nemaju problema s izražavanjem crtežima. Klari se, primjerice, nije teško izražavati crtežom osim u slučajevima *kada mora upotrijebiti maštu, nešto smislit – kao crtež kemijske veze - To mi je bilo ekstra teško*. Tijekom školovanja, osim na satovima likovnog odgoja, nitko od nje nije tražio da crtežom prikaže svoje viđenje nečega.
10. U zadatku u kojem je, prema rečenici: *Izračunat je postotak ulja u maslinama*, trebalo odabrati ispravno značenje riječi *postotak*, Klara je, primjerice, točnom označila (pogrešnu) tvrdnju: *Utvrđeno je koliki je volumni udio u maslinama*. U razgovoru je zaključila da *volumni udio* nije isto što i postotak već da se volumni udjeli najčešće iskazuju u postotcima. Na sljedeći je način objasnila ovakvu situaciju: *To je ono što već znamo, pa nam je poznato, pa nas veže i vuče nas na taj odgovor*. Takvo objašnjenje

ilustrira da nekada značenje pojma određujemo temeljem (pre)poznatog pojma koji s razmatranim čini logičnu i uvriježenu semantičku konstrukciju.

11. Da bi se predočilo način na koji Klara definira *ionsku vezu* citiramo dio intervjua:

I: *Možete li svojim riječima objasniti što je ionska veza?*

K: *To je veza kojoj prethodi nastajanje aniona i kationa nekog elementa.*

I: *Pitanje je: Što je ionska veza? Vi ste odgovorili što prethodi ionskoj vezi.*

I: *Dakle, to je veza koja nastaje kada neki element lako otpušta elektrone i daruje ih elementu koji želi postići stabilnu elektronsku konfiguraciju, odnosno popunit valentnu ljusku. Eto*

I: *Pitanje je bilo: Što je ionska veza? Vi ste sada rekli kada može nastati.*

K: *Kako ću reći što je ionska veza? Što je ionska veza? Opet me vuče na nastajanje. Ne mogu...*

Nakon kratkog razgovora o važnosti pravilnog definiranja i konkretnog objašnjavanja, nastavlja se s traženjem objašnjenja što *ionska veza* jest.

I: *Što je veza? (Možda će nam ovo pomoći da lakše definiramo ionsku vezu?)*

K: *Veza? Hm...?*

I: *Svojim riječima objasnite kako zamišljate ionsku vezu.*

K: *Rekla bi da je to interakcija, ali nije baš interakcija. Interakcije se više povezuju sa silama, ali opet, nekako mi je to najbližije.*

I: *Kakva interakcija?*

K: *Ionska interakcija. Interakcija između dva iona...*

Analizom dijaloga može se uočiti da Klara ima problema s a) definiranjem i b) razumijevanjem pojmova *veza* i *ionska veza*.

a) Pod definiranjem se ovdje misli na semantičku povezanost pitanja i odgovora. Klara, naime, na upit ne odgovara izravno već iznosi podatke koji se tiču razmatranog pojma, ali ga ne opisuju. Ne primjećuje da njezini odgovori nisu usklađeni s onim što je se pita.

b) Iako je, na kraju, dala prihvatljivu definiciju pojma *ionska veza*, Klara je prije toga iskazala pogrešno razumijevanje pridajući ionskoj vezi značenje prijenosa elektrona (*To je veza koja nastaje kad neki element lako otpušta elektrone...*) i sugerirajući da je

razlog nastajanja veze popunjavanje valentne ljuske. Pri tome je rabila antropomorfizme (element *daruje* elektrone, *želi* postići stabilnu konfiguraciju).

Marija je pri definiranju *ionske veze* bila konkretna i koncizna. Njoj *ionska veza* predstavlja *nekakvo privlačenje dviju suprotno nabijenih čestica*, a *kemijska veza* *nekakvo međudjelovanje, neku elektrostatsku interakciju... sile*.

Šimina definicija *ionske veze* je površna i pogrešna. Po njemu *Ionska veza je veza između dva atoma*.

12. Da bi se steklo dublji uvid u razumijevanje pojma *kemijska veza*, zatraženo je od sudionika intervjua objašnjenje fraze *pucanje veze*. Šime je pucanje *ionske veze* objasnio kao raskid te veze pri čemu elektroni (p)ostaju slobodni. Temeljem drugog djela njegove definicije može se zaključiti da *ionsku vezu* doživljava kao dijeljenje elektrona odnosno da je sagledava kroz model kovalentne veze. Takvo pogrešno razumijevanje već je zabilježeno u znanstvenoj literaturi.

Pucanje veze za Klaru je pucanje interakcije između iona (očito je još bila fokusirana na *ionsku vezu*) *pod utjecajem nekog poremećaja, primjerice visoke temperature*.

Marija je na zanimljiv način opisala pucanje veze: *Kad puca veza znači da su se dvije čestice približavale do određenog trenutka i onda su se počele odbijati i onda se udaljenost između njihovih jezgara povećala do te mjere da su oni postali toliko daleki da se ne mogu više privlačiti*. Ovakvo objašnjenje ima uporište u teoriji valentne veze, ali je u kontekstu pucanja veze manjkavo zbog nenavođenja uzroka i *protoka* energije. Zbog toga je traženo objašnjenje energijskih procesa koji uzrokuju odnosno prate pucanje i formiranje kemijskih veza. Marija smatra da to ovisi radi li se o egzotermnoj ili endotermnoj reakciji, ali nakon indirektnih uputa da se fokusira na spontani proces, zaključuje sljedeće: *Energija se oslobađa kad puca veza. To se događa zato što ta molekula koristi nekakvu energiju da bi držala tu vezu, odnosno da je čuva i onda kad ta veza pukne, ta energija se oslobađa i prelazi negdje drugdje*. Iako je izjavila da se prilikom stvaranja veze u novonastalu česticu ulaže energija, na izravno pitanje: *Ima li novonastala čestica veći ili manji sadržaj energije?*, Marija je, suprotno prethodno izrečenom izjavila da *novonastale čestice imaju niži sadržaj energije*. Potpuno drugačiji zaključak u odnosu na objašnjenje ukazuje da Marija nije sigurna što se s energijom događa prilikom pucanja i formiranja kemijskih veza.

Šime nije uspio objasniti energijske promjene prilikom pucanja veze. Tek je naveo da se *energija pri tome mijenja*.

Klara također ima nejasne, uglavnom pogrešne ideje o ovom problemu. Na pitanje: *Što se događa s energijom prilikom pucanja veze?* ponudila je sljedeći odgovor: *Neka je energija valjda bila uložena u tu vezu da bi se ona održala, da bi bila stabilna ta molekula, taj spoj; dakle, ona (energija, op. a.) se oslobodi kada pukne veza*. Nakon kraćeg razgovora Klara zaključuje da je pogriješila. Međutim, u sljedećem zadatku, u kojem je trebala objasniti što se s vezama događa u procesu koji se može prikazati kemijskom jednadžbom $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$, u dijelu koji se odnosi na nastajanje produkata, izjavljuje sljedeće: *Sad je dakle važna nova energija koja će se uložiti u nastanak spojeva novih, jel' tako?*

Opisane situacije ukazuju na pogrešno poimanje energijskih procesa pri pucanju i nastajanju kemijskih veza. Je li uzrok tome učenje da je *energija sadržana u kemijskim vezama* ili mišljenje da, kao u makroskopskom svijetu, nastajanje proizvoda (produkata) podrazumijeva utrošak energije (Boo, 1998) ili nešto drugo, tek treba istražiti.

13. Sa značenjem uvriježenih simbola sudionici tijekom intervjuja nisu imali poteškoća. Točno su se, primjerice, odredili prema svim tvrdnjama kojima je (točno ili pogrešno) opisivano značenje dvostruke strelice, koja simbolizira povratnu reakciju, i izraza 2NO_2 . Karla je istakla da simboli ne predstavljaju problem, ali misli da ih *nastavnici uzimaju zdravo za gotovo*. Smatra da bi svakom simbolu trebalo posvetiti posebnu pažnju i učenicima objasniti njegovo značenje. Ovakvo je promišljanje pokazatelj specifične orijentacije prema poučavanju – jedne od domena MZ-a.

Studenti su iskazali poteškoće pri objašnjavanju značenja matematičkih izraza koji su ponuđeni kao relacije kojima se (točno i netočno) iskazuje proporcionalnost dviju varijabli. Šime je nakon kraćeg promišljanja otvoreno rekao: *Sad ne znam jel' to obrnuto proporcionalno ili proporcionalno; uvik me je to zezalo*. Sličan su problem Klara i Marija imale s očitavanjem podataka iz koordinatnog sustava. *Ja još uvijek ne znam što je apscisa, a što ordinata*, zaključila je Marija, povezavši taj problem s neučestalim susretanjem s grafikonima tijekom školovanja. Niti jedna od njih nije imala problema s označavanjem X i Y osi u koordinatnom sustavu.

Intervjuom prikupljeni podatci o simboličkom jeziku sugeriraju da uzroke poteškoća treba tražiti u čitanju matematičkih izraza i nesnalaženju u okruženju simboličkih sustava (dijagrami, grafikoni), odnosno nepoznavanju značenja pojmova koji se uz njih vezuju (proporcionalno, apscisa...). Studenti uzroke problema vezanih uz razumijevanje pojedinih grafičkih prikaza ponajprije pronalaze u činjenici da su se u nastavi s njima rijetko susretali.

Detaljni kvalitativni i kvantitativni rezultati ovog istraživanja o studentskom razumijevanju simboličkih prikaza koji se koriste u nastavi kemije publicirani su (Vladušić i Ožić, 2016) i svima dostupni.

14. U cilju utvrđivanja (ne)povezanosti između značenja pojedinog pojma i uspješnosti rješavanja problema u kojem taj pojam ima značajnu ulogu osmišljeni su i provedeni TA i TB. U intervjuu je posvećena pozornost zadatku I) iz TB-a. U njemu je trebalo, temeljem zadanih vrijednosti elektronegativnosti atoma proizvoljno označenih elemenata, prepoznati *kovalentni spoj*. Nitko od intervjuiranih studenata nije točno riješio zadatak. Pokazalo se da nitko od njih, na prvo traženje, nije cjelovito definirao pojam *elektronegativnost*. Marija je navedeni zadatak pokušala riješiti zbrajanjem elektronegativnosti atoma u spoju što je ukazalo na nerazumijevanje značenja pojma *elektronegativnost*. Međutim, na opetovano traženje da definiira taj pojam, ponudila je prihvatljivu definiciju: *To je sposobnost (atoma) elementa da privlači zajednički elektronski par*. Ipak, iz daljnjeg je tijekom intervjua, posebice rečenice: *Ako (atomi elemenata, op. a.) imaju te vrijednosti elektronegativnosti i one nekako tu djeluju, onda su očito sva tri spoja kovalentna*; postalo vidljivo da Marija nije razumjela koncept *elektronegativnosti*. Prema njezinom poimanju, elektronegativnost može *djelovati*, a *imaju* je samo atomi onih elemenata koji međusobnim povezivanjem daju kovalentni spoj.

Šimi je najveći problem u rješavanju istog zadatka predstavljala apstraktnost pojma *kovalentni spoj* i pojma *elektronegativnost*. Klara je *elektronegativnost* poistovjetila s *energijom ionizacije*: *Elektronegativnost izražava brojčanu vrijednost... veći broj izražava veću težnju nekog elementa da zadrži svoj elektron*.

Klari je, u pravilu, lakše riješiti problem koji uključuje određeni kemijski pojam nego definirati sam pojam. Tu je činjenicu opravdala sljedećom izjavom: *To je zato što zbog širokog opsega sadržaja na fakultetu neke od njih moramo izbaciti* (iz memorije, op. a.)

i onda postoje neke rupe (u znanju, op. a.) pa se dogodi da ne možemo definirati neki pojam, a zapravo ga razumijemo. Slične je argumente ponudio i Šime: Ja mislim da je problem što mi puno stvari kao znamo, što oni znače, ali ne znamo ih točno definirat. Ovakva razmišljanja sugeriraju da neki studenti pojedine čimbenike opisane pojmovima mogu ili znaju upotrebljavati u rješavanju određenih kemijskih problema, pa, bez obzira što nisu kadri objasniti njihovo značenje, imaju dojam da ih i razumiju.

15. Svi sudionici intervjua dijele slično iskustvo nastave kemije. Srednjoškolsku nastavu kemije opisuju kao frontalnu, utemeljenu na živoj riječi nastavnika (*...sve bi profesorica govorila, diktirala...*), lišenu uporabe modela ili drugih izvora znanja koji bi omogućili vizualizaciju. Tek je Marija istakla elemente heurističke nastave kod svoje profesorice *u smislu da je stalno učenike izazivala na rješavanje nekakvih problema te da je imala modela i izvodila nekakve pokuse*. Dodala je: *Doduše, nije tu bilo nešto Bog zna koliko, ali bilo je nešto*. Šime je primijetio da je rad njegove nastavnice, *kad su se obrađivali ovako važni sadržaji (poput kemijskog vezivanja, op. a.), bio baš strogi frontalni rad*. Svi misle da nastava kemije, odnosno nastava o kemijskom vezivanju nije uključivala elemente aktivnog učenja, ni u srednjoj školi, niti na fakultetu.

Tijekom cjelokupnog obrazovanja nitko od intervjuiranih nikada nije bio upitan za svoje viđenje nekog koncepta ili značenja pojma (primjerice, *polarnosti, elektronegativnosti...*), odnosno za neku vlastitu predodžbu, sliku ili doživljaj nečega. Marija je u tom smislu izjavila: *Nikad se nije dogodilo da je došla profesorica i rekla kako ti vidiš nešto. To mi se nije dogodilo*. Klara je slično reagirala: *Nisu nas nikad to pitali. Samo bi nam rekli kao što je to i to i to je to. Mi bi trebali znati*.

Tijekom učenja o kemijskom vezivanju na preddiplomskom studiju, studenti su se služili udžbenikom *Opća i anorganska kemija* (autora Ivana Filipovića i Stjepana Lipanovića, op. a.). Doživljavaju ga vrlo monotonim (*... novine su mi zanimljivije od toga..., ...stranica za stranicom sve isto...*), prepunim teksta (*...nekako je pun sitnog teksta i sve je isto...*), a s malo grafičkih prikaza (*... crno bijelo, ima par sličica, ali to je sve sami tekst...*). Studenti su se mogli služiti i literaturom na engleskom jeziku (*Principles of General Chemistry*, autora Martina Silberberga, op. a.), no strani jezik nekima, poput Šime, predstavlja problem: *Na prvoj, drugoj godini fakulteta jako teško možemo sve zadatke izvlačiti s engleskog tako da je to bilo baš ono* (zahtjevno, op. a.)... Marija se nije služila udžbenikom iz kemije na engleskom jeziku, ali misli da ne bi imala problema *ako je (sadržaj) popraćen crtežima, grafikonima*. Ovaj će dio biti

zaključen Klarinim promišljanjem. Upitana za odabir jednog od dva spomenuta udžbenika, odgovorila je: *Ja sam za kombinaciju. To je ono što smo učili već o kemijskom jeziku i simbolima, da je na nepoznatom jeziku još teže razumjeti nepoznate sadržaje pa bih ja to učila na hrvatskom, a slike bi gledala tamo.*

Uzroci poteškoća s razumijevanjem pojmova mogu se tražiti u neadekvatnim nastavnim pristupima poučavanja sudionika intervjua o kemijskom vezivanju. Njihovo iskustvo ukazuje da sa studentima i učenicima treba komunicirati putem raznovrsnih kanala, na materinjem jeziku. Pokazuje se da razumijevanje uvriježenih simbola ili simboličkih sustava (grafikona, dijagrama, čestičnih crteža, dogovorenih shema...) omogućuje univerzalnu (interlingvalnu) komunikaciju te može pripomoći u (dodatnom) razumijevanju značenja verbalno iskazanih pojmova.

3.1.4.6. Zaključak

Temeljem prethodno iznesenog pregleda i interpretacije rezultata, bit će izdvojene i prema područjima istaknutima u tablici 24, sažeto prikazane najznačajnije spoznaje stečene intervjuima i fokusnom grupom. S obzirom na relativno mali broj sudionika intervjua, koji je odabran u skladu s metodološkim određenjem (uporaba mješovite metode), može se reći da su sljedeći zaključci ilustracijskog karaktera.

Zahtjevnost pojmova koje su studenti razmatrali u upitnicima, u pravilu nije, prema njihovoj prosudbi, drugačija od pojmova koji se koriste u redovnoj nastavi kemije. Temu *kemijsko vezivanje* uglavnom svrstavaju među složenije. Budući nastavnici kemije nemaju adekvatne predodžbe o učeničkom poznavanju značenja razmatranih pojmova. Kao glavni kriterij prosudbe učeničkog razumijevanja navode vlastito znanje o tim pojmovima u dobi kada su ih oni obrađivali u školi i pretpostavke što bi učenici trebali znati. Ipak, podatci ukazuju da budući nastavnici kemije učeničko razumijevanje riječi i simbola uglavnom procjenjuju prema vlastitom znanju. Iskustvo promišljanja o značenju pojmova, stečeno tijekom popunjavanja upitnika o jeziku, smatraju korisnim za budući rad s učenicima.

Uočeni se problemi očituju u (a) nepostojanju valjanih kriterija za procjenu učeničkog razumijevanja pojedinih pojmova; (b) neadekvatnom razumijevanju pojmova koji se koriste u poučavanju o kemijskom vezivanju (c) pridavanju značenja razmatranom pojmu temeljem značenja drugog (prepoznatog) pojma koji s njim čini uvriježenu semantičku strukturu, (d) nesustavnom definiranju pojmova, (e) nerazumijevanju energijskih promjena koje se zbivaju

pri *pucanju* i nastajanju veza i (f) otežanom radu sa simbolima odnosno simboličkim sustavima, često uvjetovanim nepoznavanjem značenja sekundarnih termina (poput pojma *apscisa*).

Činjenica da su pojedine kemijske probleme u stanju riješiti i bez razumijevanja relevantnih pojmova, studente vodi do zaključaka da pojmove razumiju, unatoč tome što ih ne znaju definirati. Probleme s nepoznavanjem značenja pojedinih pojmova opravdavaju malom učestalošću njihova pojavljivanja u nastavi. Uzroci koji su tijekom školovanja mogli dovesti do prethodno opisanih problema, mogu se prepoznati u nedostacima frontalne nastave, izostanku aktivnog učenja te u jezičnoj monodimenzionalnosti nastavnih materijala odnosno nastavnih pristupa.

3.1.4.7. Implikacije za nastavu

Rezultati kvantitativnog dijela istraživanja potvrđuju proizvoljnost studentskih kriterija procjene učeničkog razumijevanja. Stoga s budućim nastavnicima kemije treba raditi na usustavljanju kriterija procjene. Nadalje, mnogi studenti nisu pokazali potrebno razumijevanje razmatranih pojmova. Najviše su poteškoća imali sa apstraktnim pojmovima te pojmovima s dvojakim (svakodnevnim i znanstvenim) značenjem, pa upravo njima treba pridati posebnu pozornost u pripremi za nastavu i nastavi. Porast svijesti o vlastitom razumijevanju, važan je korak u sustavnom razmatranju poteškoća s jezikom nastave kemije. U tom smislu, u metodičkim se kolegijima preporuča primjena OZO-metode.

3.1.5. Završno razmatranje: Jezik u učenju i poučavanju kemije i MZ

Uočeni jezični problemi studenata diplomskog studija doprinose su porastu MZ-a njihovih nastavnika u području znanja o razumijevanju svojih studenata. S obzirom na to da je kvalitativnim istraživanjem utvrđen pozitivan utjecaj izlaganja UPZ-u na porast svijesti studenata o poteškoćama s razumijevanjem riječi i simbola nastave kemije, OZO-metoda je potvrđena kao učinkovit edukacijski alat za poučavanje metodike nastave kemije. Svijest o edukacijskim potencijalima takvog alata doprinosi je MZ-u u području znanja o nastavnim strategijama. Iako studenti tijekom ovog istraživanja nisu saznali koje pojmove nastave kemije, odnosno nastave o kemijskom vezivanju, petnaestogodišnji gimnazijalac razumije, zahvaljujući OZO-metodi prepoznali su jezične poteškoće koje mogu očekivati u radu s učenicima i osvijestili potrebu rada na sebi. Stoga se može zaključiti da je uslijed izlaganja OZO-metodi došlo i do porasta njihova MZ-a.

3.2. Razumijevanje modela kemijskog vezivanja

3.2.1. Modeli kemijskog vezivanja

Da bi se nedvosmisleno komuniciralo o kemijskom vezivanju, valja razjasniti jezični problem uzrokovan različitim tumačenjem značenja termina *veza* i *vezivanje*. Kemijsko *vezivanje*, označava opći fenomen povezanosti čestica, dok se termin *veza* odnosi na pojedinačne, usmjerene interakcije.

Pretpostavka je da svi čitatelji ove disertacije ne promišljaju jednako o kemijskom vezivanju. Stoga slijede ključne ideje na kojima se temelji ovo istraživanje, a koje su primjerene sekundarnoj razini obrazovanja. Na toj se razini, o kemijskom vezivanju može razmišljati kao o električnom fenomenu (Taber, 2012). Tek će u nastavku školovanja učenici, odnosno studenti, otkriti nedorečenosti elektrostatskog modela i upoznati nove čimbenike i teorije kojima se objašnjava povezanost čestica u strukturama. Povezivanje magnetizma s kemijskim vezivanjem i udubljanje u kvantnu teoriju, na srednjoškolskoj razini predstavlja otegotnu komplikaciju (Taber, 2012).

Veze su privlačne sile koje atome ili ione drže na okupu u elementarnim tvarima i kemijskim spojevima. Te sile rezultat su privlačenja između čestica suprotnog električnog naboja, poput iona ili atomskih jezgara i elektrona. Napretkom kemije i sintezom novih materijala, kao i boljim razumijevanjem strukture tvari, kemijsko vezivanje postaje sve teže objasniti. Porastom znanja o makromolekularnoj kemiji, kemiji kompleksnih spojeva i *nekovalentnim* interakcijama, raste i potreba za osmišljavanjem novih načina i modela kojima se opisuje i obrazlaže povezivanje submikroskopskih čestica. U tom kontekstu, već definiranje koncepta *molekula* predstavlja izazov.

Da bi se omogućilo razumijevanje svojstava tvari na razini srednje škole, treba odrediti adekvatnu razinu na kojoj će se objasniti kemijsko vezivanje. Dobno prilagođen i znanstveno utemeljen, elektrostatski je okvir temelj promišljanja o kemijskom vezivanju na tom stupnju obrazovanja. Na temelju ideje o elektrostatskom međudjelovanju atoma ili iona ili subatomske čestice te opažanjem različitih svojstava različitih tvari, učenike srednjih škola upoznajemo s različitim modelima kemijskog vezivanja. Svaki od tih modela odnosi se na posebnu skupinu tvari koje su kategorizirane prema sličnosti svojstava. Modeli omogućuju objašnjavanje njihovih svojstava, ali se, podsjećamo, niti jednim od njih ne mogu objasniti sva svojstva niti se mogu primijeniti na sve slučajeve.

Značajke četiriju modela, najčešće razmatranih skupina tvari, sažeto su i prilagođeno srednjoškolskoj populaciji opisane u nastavku.

Metali

Delokalizirani valentni elektroni atoma metala kreću se u *moru* pokretnih elektrona. Gledajući na takav način, strukturu metala čine kationi i delokalizirani elektroni. Broj elektrona po svakom kationu metala jednak je veličini jezgrinog naboja. Primjerice, elektronska konfiguracija atoma magnezija je 2.8.2, što se može opisati kao pozitivno nabijena atomska jezgra (2+) i dva valentna elektrona. Metal se sastoji od ogromnog broja takvih, pravilno organiziranih jezgara, Mg^{2+} kationa, s pripadajućim elektronima. Kada se atomi magnezija dovoljno približe, njihove se *vanjske ljuske preklape*, odnosno povežu. To omogućuje kretanje valentnih elektrona kroz tvar. Elektrostatska privlačnost između pozitivnih iona i *mora* negativnih elektrona, odnosno metalno vezivanje, čestice magnezija drži na okupu.

Kovalentne tvari umrežene strukture

Atomi su pravilno trodimenzionalno raspoređeni. Svaki je atom s drugim atomima povezan kovalentnim vezama. Kovalentna veza među atomima nastaje zbog privlačnog međudjelovanja svake od jezgara dvaju atoma s jednim ili više zajedničkih elektronskih parova *smještenih* između njih. Kristal se može smatrati jednom ogromnom molekulom.

Kovalentne molekularne tvari

Svaka je molekularna tvar sastavljena od molekula u kojima su atomi koji ih čine, povezani kovalentnim vezama. U usporedbi s međudjelovanjima između molekula, kovalentne su veze relativno snažne interakcije.

Ionske tvari

Kationi i anioni su pravilno raspoređeni u kristalu. Struktura se na okupu održava ionskim vezivanjem – elektrostatskim privlačnim silama koje djeluju između suprotno nabijenih iona. Ionsko vezivanje, dakle, predstavlja ukupan zajednički efekt međudjelovanja u cijelom kristalu.

3.2.2. Razumijevanje modela kovalentnog vezivanja

3.2.2.1. Istraživačko pitanje

Prema dostupnim informacijama, još nije provedeno istraživanje o razumijevanju kovalentne veze i referentnih koncepata na svim razinama jednog obrazovnog sustava – na učenicima, studentima i nastavnicima. Utvrđivanje eventualnih povezanosti u rezultatima različitih

skupina sudionika obrazovnog procesa može voditi k prepoznavanju uzroka nerazumijevanja kovalentnog vezivanja. Podatci o (ne)razumijevanju tog koncepta na razini cijelog obrazovnog sustava značajni su za pripremu nastave postojećih i budućih nastavnika kemije. Zbog toga je istraženo kakvo razumijevanje modela kovalentne veze i kovalentnih struktura iskazuju učenici, studenti i nastavnici kemije u RH. Postavljeno je sljedeće istraživačko pitanje:

Kakvo razumijevanje koncepta kovalentne veze, u usporedbi sa znanstveno prihvaćenim modelom, pokazuju srednjoškolci, studenti i nastavnici kemije u RH?

3.2.2.2. Dijagnostički instrument

Trebalo je osmisliti ili odabrati provjeren instrument kojim će biti prikupljene informacije o razumijevanju modela kovalentne veze. Konvencionalni testovi sa zadatcima višestrukog izbora ne omogućuju zadovoljavajući uvid u razumijevanje sadržaja. Stoga je za provjeru razumijevanja kovalentne veze odabran test s dvoslojnim zadatcima. S obzirom na dostupnost testa *The covalent bonding and structure* (Peterson, 1986), razvijenog na Curtin Sveučilištu u Australiji za identifikaciju konceptualnog razumijevanja kovalentne veze i struktura te njegovu potvrđenu valjanost i pouzdanost (Peterson i Treagust, 1989; Peterson i sur., 1989; Dhindsa i Treagust, 2009) on je i upotrijebljen. Takvoj odluci prethodila je provjera usklađenosti sadržaja testa s nastavnim programom prvog razreda gimnazija u RH, tijekom kojeg se obrađuju kovalentne veze i strukture. Da bi bila postignuta potpuna usklađenost, jedanaesti zadatak iz testa *The covalent bonding and structure* (Peterson, 1986) zamijenjen je prihvatljivijim iz proširene baze od 27 zadataka istog autora (Peterson, 1986).

Izvorni zadatci dvoslojnog su tipa. Prvi sloj zadatka sastoji se od pitanja s dva, tri ili četiri ponuđena odgovora, a drugi sadržava četiri moguća objašnjenja tih odgovora. Kao primjer može poslužiti zadatak upotrijebljen za provjeru razumijevanja teorije prema kojoj međusobni utjecaj podijeljenih i nepodijeljenih elektronskih parova središnjeg atoma određuje oblik molekule.

2. Reakcijom dušika (*element 15. skupine*) i broma (*element 17. skupine*) nastat će molekule produkta. Te će molekule, najvjerojatnije, imati oblik koji najbolje opisujemo kao:

(1) Planaran (trokut) (2) Trostranu piramidu (3) Tetraedar

Razlog

(A) Atom dušika ostvaruje tri veze koje se podjednako odbijaju jedne od drugih formirajući planarnu molekulu trokutasta oblika.

(B) *Tetraedarski raspored zajedničkih i nepodijeljenih parova elektrona oko (jezgre) atoma dušika određuje oblik molekule.*

(C) *Polarnost veze između atoma dušika i broma određuje oblik molekule.*

(D) *Razlika u elektronegativnosti između atoma broma i dušika određuje oblik molekule.*

Instrument kojim je ispitivano razumijevanje kovalentnih veza i struktura sastavljen je od 15 zadataka. Svaki od njih odnosi se na specifični koncept vezan uz model kovalentne veze: polarnost veze (1., 3. i 14. zadatak), polarnost molekule (6., 9. i 12.* zadatak), oblik molekule (2., 5., 8., 13. i 15.* zadatak), struktura tvari (4. i 11. zadatak), međumolekulske sile (7. i 12.* zadatak) i pravilo okteta (10. i 15.* zadatak). Dvanaesti i petnaesti se zadatak, vidljivo je iz prethodnog, odnose na po dva koncepta. Većina zadataka je problemskog tipa, a svakim od njih propituje se usklađenost razumijevanja s prethodno postavljenim *činjeničnim izjavama* o konceptima u području kovalentne veze i struktura.

Autor ovog rada i kritički prijatelj (M.O.), neovisno su jedno o drugome, preveli Petersonov test s engleskog na hrvatski jezik. Nakon analize prevedenih zadataka i rasprave autora sa stručnjakom s engleskog govornog područja (R.B.B.) zaključeno je da završna verzija prevedenog instrumenta odgovara izvorniku.

S obzirom na to da je cilj bio utvrditi koja su pogrešna poimanja duboko ukorijenjena, a koja su posljedica neznanja ili okolnosti, instrument je proširen samoevaluacijskim dodatkom. Pomoću njega je mjeran indeks sigurnosti ispitanika u točnost svakog odgovora. Sigurnost se iskazivala odabirom jedne od tri mogućnosti: *sigurna/siguran sam, nisam sigurna/nisam siguran i tek nagađam*. Ideja je da svi netočni odgovori nisu pokazatelj pogrešnih konceptualizacija – takvi mogu biti samo netočni odgovori u čiju su točnost ispitanici uvjereni. Ipak, kako bi fokus ostao na istraživačkom pitanju, u ovom radu se ne ulazi u kategorizaciju (ne)razumijevanja, već će se indeks sigurnosti razmatrati samo u kontekstu pojedinih, specifičnih rezultata.

Pripremljeni instrument nazvan je *Kovalentne veze i strukture, KViS*. S obzirom na dodatak samoevaluacijskog pitanja svakom zadatku, ispred akronima naziva stavljen je znak "+", +KViS (Prilog 10).

3.2.2.3. Sudionici istraživanja

S obzirom na to da je cilj bio istražiti razumijevanje modela kovalentne veze i struktura na svim razinama obrazovnog sustava u RH, +KViS je proveden s uzorcima učenika, studenata i nastavnika.

U istraživanju je sudjelovalo 739 učenika srednjih škola iz svih četiriju regija RH (101 iz regije Osijek, 53 iz regije Rijeka, 311 iz regije Split i 274 iz regije Zagreb), 284 studenta (200 preddiplomaca i 84 diplomca), od čega 106 s PMF-a Sveučilišta u Splitu, 150 s PMF-a Sveučilišta u Zagrebu i 28 s Odjela za kemiju Sveučilišta Josipa Juraja Strossmayera iz Osijeka), te 62 nastavnika (13 iz regije Osijek, 10 iz regije Rijeka, 15 iz regije Split i 24 iz regije Zagreb).

3.2.2.4. Prikupljanje i analiza podataka

Način prikupljanja podataka od učenika i studenata razlikovao se od načina kojim su podatci prikupljeni od nastavnika. Učenici i studenti su dobili tiskanu verziju +KViS-a koja se sastojala od otisnutih zadataka te prazne tablice za unos odgovora i iskaza procjene svog odgovora. Instrument je proveden anonimno, u učionici, u prisutnosti nastavnika ili istraživača, u prosječnom trajanju od 30 minuta.

Tiskana verzija nije mogla biti poslana svim srednjoškolskim nastavnicima pa je, uz pomoć Google Docs-a izrađen instrument i postavljen *online*. Potom je svim nastavnicima srednjih škola u RH poslan *e-mail* sa zamolbom za suradnjom i poveznicom na instrument. Nastavnici su odgovore i indeks samoprocjene označavali klikom miša. Vrijeme rješavanja nije bilo ograničeno.

Temeljem prikupljenih podataka izračunati su udjeli točnih odgovora te su iskazani u postotcima. Svaki zadatak vrednovan je kao točan samo ako je ispitanik odabrao ispravan odgovor iz prvog *sloja* i ispravno objašnjenje (razlog) iz drugog. Netočan odgovor ili netočno odabran razlog smatrao se pokazateljem nerazumijevanja (Peterson i sur., 1989).

3.2.2.5. Ograničenja rezultata

Dva čimbenika mogu utjecati na pouzdanost zaključaka ovog istraživanja. To su: (a) nejednaki uvjeti provedbe dijagnostičkog instrumenta – učenici i studenti su, za razliku od nastavnika, +KViS popunjavali u kontroliranim uvjetima, u relativno ograničenom vremenu i (b) pojedine konceptualizacije relevantne za razumijevanje kovalentne veze i strukture propitivane su sa samo nekoliko zadataka, pa uopćeni sudovi o razumijevanju pojedinih koncepata nemaju veliku statističku težinu.

3.2.2.6. Rezultati i rasprava

3.2.2.6.1. Opis prikaza rezultata

Rezultati su prikazani u tablicama 25, 26, 27, 28, 29 i 30. Zbog jednostavnosti, u tablicama s rezultatima navedena su pitanja prvog *sloja*, a ne cjeloviti zadatci. Pitanja su minimalno modificirana kako bi se smanjio opseg tablica i olakšalo praćenje rezultata. Smisao pitanja ostao je isti. Cjeloviti su zadatci navedeni u Prilogu 10.

Rezultati su iskazani u postotcima točnih odgovora. Radi lakše čitljivosti i konciznosti sadržaja u ovom odjeljku prikazani su samo postotci točno riješenih, cjelovitih zadataka. Međutim, u raspravi su, gdje je procijenjeno bitnim, korišteni i parcijalni rezultati prvog ili drugog sloja razmatranog zadatka.

U tablicama su, u zagradama, uz postotke točnih odgovora, navedeni postotci učenika, studenata i nastavnika koji su nagađali odgovor.

Rezultati su grupirani i raspravljani prema konceptima važnima za razumijevanje kovalentnog vezivanja: polarnost veze (1., 3. i 14. zadatak), polarnost molekule (6., 9. i 12.* zadatak), oblik molekule (2., 5., 8., 13. i 15.* zadatak), struktura tvari (4. i 11. zadatak), međumolekulske sile (7. i 12.* zadatak) i pravilo okteta (10. i 15.* zadatak).

U tablicama je naveden ukupan broj sudionika istraživanja. Međutim, svi učenici i studenti, za razliku od nastavnika, nisu riješili sve zadatke. Ipak, kako je broj onih bez odgovora zanemariv u odnosu na ukupni uzorak, nije posebno naveden. Dijagnostički instrument za nastavnike programiran je tako da nije bilo moguće nastaviti rješavanje ako prethodni korak nije zgotovljen. Zbog toga su svi nastavnici odgovorili na sva pitanja.

3.2.2.6.2. Prikaz i interpretacija rezultata

Rezultati pokazuju značajne slabosti učenika, studenata i nastavnika u razumijevanju koncepata iz područja kovalentnih veza i struktura. U nastavku će biti prikazani i komentirani rezultati zadataka prema konceptima na koje se odnose: polarnost veze, polarnost molekule, oblik molekule, struktura tvari, međumolekulske sile i pravilo okteta.

3.2.2.6.2.1. Polarnost veze

U tablici 25 prikazani su rezultati zadataka kojima je istraživano razumijevanje koncepta *Polarnost veze*.

Tablica 25. Postotci sudionika koji su uspješno riješili 1., 3. i 14. zadatak, kojima se ispitivalo razumijevanje koncepta *Polarnost veze*.

Pitanje	Nastavnici	Studenti	Učenici
1. Koji od izraza bolje prikazuje položaj zajedničkog elektronskog para u molekuli fluorovodika (HF)?	85,5 (0,0)	71,2 (1,1)	54,4 (5,7)
3. Koji od prikaza bolje prikazuje polarnost veze između atoma kisika i fluora?	90,3 (5,4)	52,6 (4,9)	29,2 (9,8)
14. Koji atom, u molekuli SCl_2 ima djelomično pozitivan naboj?	85,5 (1,9)	61,6 (9,6)	27,1 (14,4)

(nastavnici $N = 62$, studenti $N = 274$, učenici $N = 736$)

Različiti ispitanici različito vide položaj zajedničkog elektronskog para u polarnoj molekuli, kao i prikaze koji ukazuju na polarnost veze i raspodjelu elektronskog oblaka u molekuli građenoj od atoma različite elektronegativnosti. U skladu sa očekivanjima, nastavnici su pokazali najbolje razumijevanje, a učenici najslabije. Zabrinjava mali postotak uspješnih učenika i studenata, posebice u rješavanju 3. i 14. zadatka.

Rezultati neuspješnih ispitanika uglavnom su raspršeni. To znači da gotovo niti jedna netočna kombinacija varijabli prvog i drugog sloja razmatranih zadataka, nije značajno zastupljena. Uočena je tek jedna iznimka. Naime, 35,5 % učenika (i 16,8 % studenata) smatra da zajednički elektronski par treba prikazati u sredini prikaza molekule fluorovodika, budući da se atom vodika i atom fluora povezuju kovalentnom vezom. Prema njima, dakle, kovalentna veza u molekuli fluorovodika nije polarna.

3.2.2.6.2.2. *Polarnost molekule*

Rezultati zadataka kojima je istraživano razumijevanje koncepta *Polarnost molekule*, prikazani su u tablici 26.

Tablica 26. Postotci sudionika koji su uspješno riješili 6., 9. i 12. zadatak, kojima je ispitivano razumijevanje koncepta *Polarnost molekule*.

Pitanje	Nastavnici	Studenti	Učenici
6. Koja je, među prikazanim molekulama (SiF_4 , OF_2 , BF_3), polarna?	50,0 (3,2)	24,5 (0,0)	15,8 (20,7)
9. Je li molekula klorova trifluorida (ClF_3), često opisivana planarnom molekulom T oblika, polarna ili nepolarna?	66,1 (2,4)	30,9 (6,0)	38,6 (11,0)
12. Temeljem usporedbe tvari sastavljenih od molekula OF_2 i tvari sastavljenih od molekula CF_4 , procijeni jakost međumolekulskih sila u njima.	77,4 (4,2)	37,6 (19,6)	27,5 (18,0)

(nastavnici $N = 62$, studenti $N = 274$, učenici $N = 736$)

Sve tri skupine ispitanika iskazale su značajne poteškoće u prosudbi polarnosti molekula. Posebno im je problematičan bio 6. zadatak. Tek ga je 50,0 % nastavnika, 24,5 % studenata i

15,8 % učenika uspješno riješilo (tablica 26). Detaljnijom analizom rezultata utvrđeno je da većina ispitanika molekulu kisikova difluorida smatra polarnom (75,8 % nastavnika, 78,4 % studenata i 82,3 % učenika), ali ne zna razlog njezine polarnosti. Čak 50,6 % učenika i 38,1 % studenata pogrešno misli da nepodijeljeni elektronski parovi vanjskih atoma u molekuli induciraju dipol i time molekulu čine polarnom. Zanimljivo je primijetiti da 24,2 % nastavnika kemije molekulu silicijeva tetrafluorida smatra polarnom iako je u danom prikazu jasno uočljiva njezina tetraedarska građa. Možda su nastavnici čimbenikom (ne)polarnosti smatrali polarne veze između atoma silicija i fluora, a zanemarili prostornu građu te molekule.

Iako je u 9. zadatku molekula klorova trifluorida opisana kao planarna struktura *T* oblika, 54,0 % studenata i 44,2 % učenika procijenilo ju je kao nepolarnu. Najveći broj studenata (48,5 %) i učenika (30,8 %) (pogrešno) je mislio da molekula silicijeva trifluorida nije polarna zbog male razlike u vrijednostima koeficijenta elektronegativnosti atoma klora i fluora.

3.2.2.6.2.3. Oblik molekule

U tablici 27 prikazani su rezultati zadataka kojima je istraživano razumijevanje koncepta *Oblik molekule*.

Tablica 27. Postotci sudionika koji su uspješno riješili 2., 5., 8., 13. i 15. zadatak, kojima je ispitivano razumijevanje koncepta *Oblik molekule*.

Pitanje	Nastavnici	Studenti	Učenici
2. Kakav će oblik imati molekule koje nastanu reakcijom dušika i broma?	46,8 (0,0)	14,0 (10,5)	8,0 (11,9)
5. Koji oblik najvjerojatnije ima molekula SCl_2 ?	62,9 (0,0)	39,9 (3,6)	35,2 (8,9)
8. Koja od sljedećih struktura najbolje prikazuje oblik COCl_2 molekule?	50,0 (6,4)	16,2 (15,9)	11,4 (21,7)
13. Teorija odbijanja elektronskih parova valentne ljuske, VSEPR (<i>valence shell electron pair repulsion</i>), se koristi da bi odredili...	85,5 (0,0)	69,6 (4,7)	39,5 (13,7)
15. Koji prikaz najbolje predstavlja strukturu N_2Cl_4 ?	46,8 (0,0)	13,2 (13,9)	11,8 (19,1)

(nastavnici $N = 62$, studenti $N = 274$, učenici $N = 736$)

Usporedba rezultata po zadacima ukazuje da su nastavnici, studenti i učenici najbolji rezultat ostvarili odgovarajući na (13.) pitanje o VSEPR-modelu. Može se zaključiti da je većina nastavnika i studenata, ali ne i učenika, pokazala da razumije principe VSEPR-modela.

Međutim, velike su poteškoće nastale kada je to znanje, u problemskim situacijama, trebalo primijeniti na oblik molekule. Mali je postotak nastavnika, te izrazito mali postotak studenata i učenika, bio uspješan u tome. Primjerice, manje od polovice nastavnika te svega 14,0 % studenata i 8,0 % učenika je uspješno povezaloblik trostrane piramide molekule dušikova tribromida (NBr_3) s tetraedarskim rasporedom elektronskih parova oko dušikova atoma u toj

molekuli. Podjednako su neuspješni bili u prepoznavanju oblika molekule fosgena (COCl_2) i strukturne formule diduškova tetraklorida (N_2Cl_4).

Analiza rezultata, ukazuje na tri učestala mišljenja, prije svega kod učenika, koja se može smatrati uzrocima neuspješnog rješavanja zadataka o obliku molekula: (a) na oblik molekule ne utječu nepodijeljeni elektronski parovi središnjeg atoma, (b) oblik molekule posljedica je odbijanja samo nepodijeljenih elektronskih parova i (c) polarnost veze bitan je čimbenik za određenje oblika molekule. Takav zaključak izveden je temeljem sljedećih pokazatelja:

- (a) Gotovo trećina učenika (32,2 %) je linearnu strukturu molekule sumporova diklorida, SCl_2 , pogrešno procijenila valjanom. Procjenu su argumentirali maksimalnim odbijanjem veza koje atomi klora ostvaruju s atomom sumpora. Utjecaju nepodijeljenih elektronskih parova središnjeg atoma na oblik molekule nisu pridali važnost. Isti je problem iskazalo 18,7 % studenata. Uvriježenost takvog mišljenja potvrđena je rezultatima 2. zadatka. Naime, više od petine studenata (21 %) i učenika (23,9 %) pogrešno je pretpostavilo da atom dušika u molekuli dušikova tribromida ostvaruje tri veze koje se podjednako odbijaju jedne od drugih zbog čega ta molekula ima trokutast oblik.
- (b) Odbijanja (samo) između nepodijeljenih elektronskih parova određuju oblik molekule – argument je kojeg 28,2 % studenata koristi u objašnjenju zašto molekula sumporova diklorida ima savijeni, V-oblik.
- (c) Čak 40,3 % učenika, 38,2 % studenata i 25,8 % nastavnika, oblik molekule fosgena, COCl_2 , vidi kao posljedicu jače polarnosti $\text{C}=\text{O}$ dvostruke veze u odnosu na druge veze u molekuli.

Iste su poteškoće pri određivanju oblika molekule, na uzorku australskih učenika 12. razreda, utvrdili Peterson i Treagust (1989).

3.2.2.6.2.4. Struktura tvari

Četvrtim i jedanaestim zadatkom ispitivano je razumijevanje povezanosti strukture i svojstava tvari s obzirom na međučestične interakcije. Rezultati su prikazani u tablici 28.

Tablica 28. Postotci nastavnika, studenata i učenika koji su uspješno riješili 4. i 11. zadatak, kojima je ispitivano razumijevanje povezanosti strukture i svojstava tvari.

Pitanje	Nastavnici	Studenti	Učenici
4. Silicijev karbid ima visoko talište i vrelište. Sugeriraju li ovi podaci da su veze u silicijevom karbidu slabe ili jake?	48,4 (0,0)	14,2 (9,1)	6,3 (9,3)
11. Suhi je led čvrsta tvar sastavljena od molekula ugljikova dioksida. Koristi se kao sredstvo za hlađenje namirnica pri čemu sublimira. Temeljem ovih informacija zaključite svrstavamo li suhi led u molekulske ili atomske kristale.	91,9 (0,0)	50,2 (10,2)	38,7 (20,7)

(nastavnici $N = 62$, studenti $N = 274$, učenici $N = 736$)

Učenici i studenti, a djelomično i nastavnici, pokazali su slabo razumijevanje strukture tvari. To se više očitava iz malog postotka uspješnih u rješavanju 4. nego 11. zadatka (tablica 28).

Velika većina ispitanika je visoko talište i vrelište silicijeva karbida, SiC, povezala s jakim vezama među česticama te tvari (96,8 % nastavnika, 93,1 % studenata i 95,8 % učenika). Međutim, većina njih odabrala je argument proturječan ideji o jakim vezama. Konkretno, 29 % nastavnika, 65,7 % studenata i 77,5 % učenika je jake međumolekulske sile smatralo uzrokom visokog tališta i vrelišta silicijeva karbida. Takav rezultat pokazatelj je nerazumijevanja strukture silicijevog karbida i koncepata međumolekulskih sila i kovalentnih veza.

Slično kao i u prethodnom primjeru, nastavnici (njih 98,4 %), studenti (91,9 %) i učenici (81,3 %) ispravno su riješili prvi sloj 11. zadatka zaključivši da je suhi led molekularni kristal. Nastavnici (91,9 %) su znali da je kristalna struktura suhog leda sastavljena od molekula ugljikova dioksida međusobno povezanih slabim privlačnim silama. Međutim, takvo je znanje pokazalo tek 38,7 % učenika i 50,2 % studenata. U tim je populacijama, između pogrešnih odgovora, najčešća kombinacija 1C (17,3 % učenika i 18,3 % nastavnika) prema kojoj je molekularni kristal ugljikova dioksida sastavljen od molekula povezanih kovalentnim vezama. Takvo je razmišljanje pokazatelj nerazumijevanja koncepta kovalentnog vezivanja i strukture tvari.

3.2.2.6.2.5. Međumolekulske sile

Sedim i dvanaestim zadatkom ispitivano je razumijevanje koncepta *Međumolekulske sile*. Rezultati su prikazani u tablici 29.

Tablica 29. Postotci nastavnika, studenata i učenika koji su uspješno riješili 7. i 12. zadatak kojima je ispitivano razumijevanje koncepta *Međumolekulske sile*.

Pitanje	Nastavnici	Studenti	Učenici
7. Voda (H ₂ O) i sumporovodik (H ₂ S) imaju sličnu kemijsku formulu i isti (savijen, V) oblik molekule. Je li razlika u njihovim agregacijskim stanjima pri sobnoj temperaturi posljedica relativno jakih međumolekulskih sila između molekula vode ili između molekula sumporovodika?	75,8 (0,0)	25,3 (5,8)	19,8 (17,2)
12. Temeljem usporedbe tvari sastavljenih od molekula OF ₂ i tvari sastavljenih od molekula CF ₄ , procijeni jakost međumolekulskih sila.	77,4 (4,2)	37,6 (19,6)	27,5 (18,0)

(nastavnici $N = 62$, studenti $N = 274$, učenici $N = 736$)

Malo je učenika (19,8 %) i studenata (25,3 %) zaključilo da je razlika u jakosti međumolekulskih sila posljedica razlike u polarnosti molekula (tablica 29). Analiza pogrešnih odgovora pokazuje da 29,7 % studenata razliku u jakosti međumolekulskih sila vidi kao posljedicu različite jakosti kovalentnih veza u molekulama. Značajan broj učenika (36,9 %) međumolekulske sile poistovjećuje sa silama u molekulama.

Rezultati pokazuju da mali postotak učenika (27,5) i studenata (37,6) uspješno povezuje polarnost i oblik molekule s jakošću međumolekulskih sila (tablica 29, 12. zadatak). Zabrinjava spoznaja o gotovo četvrtini nastavnika koji nisu pokazali razumijevanje jakosti međumolekulskih sila i njihovog utjecaja na agregacijsko stanje tvari.

3.2.2.6.2.6. *Pravilo okteta*

Desetim zadatkom ispitano je razumijevanje pravila okteta, a 15. sposobnost njegove primjene. Rezultati su prikazani u tablici 30.

Tablica 30. Postotci nastavnika, studenata i učenika koji su uspješno riješili 10. i 15. zadatak kojima je ispitivano razumijevanje, odnosno primjena, pravila okteta.

Pitanje	Nastavnici	Studenti	Učenici
10. Koristi li se <i>Pravilo okteta</i> za određivanje oblika molekule ili broja veza koje atom stvara?	82,3 (0,0)	61,3 (7,1)	66,3 (7,2)
15. Koji prikaz najbolje predstavlja strukturu N ₂ Cl ₄ ?	46,8 (0,0)	13,2 (13,9)	11,8 (19,1)

(nastavnici $N = 62$, studenti $N = 274$, učenici $N = 736$)

Rezultati prikazani u tablici 30 ukazuju na probleme ispitanika s razumijevanjem značenja pravila okteta. Približno petina nastavnika te trećina učenika i studenata ne povezuje pravilo okteta s brojem kovalentnih veza atoma i s modelom dijeljenja elektrona. O razlozima ovakvog rezultata može se samo spekulirati. Pri tome treba razmotriti mogućnost da neki ispitanici

obrazloženje pod A, u 10. zadatku, iako u skladu s nastavnim programom kemije za 1. razred srednje škole, ne smatraju prikladnim za objašnjavanje kovalentne veze. Naime, u tom se zadatku, kao valjana tvrdnja, navodi sljedeće: *Pravilom okteta se utvrđuje da atom formira kovalentne veze dijeljenjem elektrona s ciljem popunjavanja valentne ljuske s 8 elektrona.* Ovakva tvrdnja ima dva nedostatka: prvi je njezin antropomorfistički karakter – atom ima cilj, a drugi je trivijalan i netočan razlog nastajanja kovalentne veze – popunjavanje ljuske odnosno postizanje okteta. Pravilo okteta, slažemo se s Taberom (2002a), ne govori ništa o nastajanju kemijskih veza. Korisno je, prije svega, za identifikaciju stabilnih kemijskih vrsta.

Gotovo 90 % učenika i studenata, te približno polovica nastavnika (tablica 30, 15. zadatak), pogrešno je analiziralo strukturu molekule diduškova tetraklorida, N_2Cl_4 . Dio njih (23,3 % učenika, 31,9 % studenata i 17,7 % nastavnika) zaokružio je tvrdnju prema kojoj svaki dušikov atom sudjeluje u strukturi molekule diduškova tetraklorida s pet elektronskih parova. Zaključujemo da dio sudionika ovog istraživanja nije pokazao potrebno znanje o elektronskoj konfiguraciji atoma dušika.

3.2.2.6.3. Rasprava

Rezultati učenika, studenata i nastavnika svjedoče o slabom razumijevanju koncepata iz područja kovalentne veze i struktura. Najviše su poteškoća u razumijevanju iskazali učenici, a potom studenti. I jedni i drugi su već nagađanjem odgovora (i do 20 % odgovora je nagađano) iskazali pomanjkanje znanja o kovalentnoj vezi i strukturama. Za razliku od njih, mali je broj nastavnika nagađao rješenja zadataka. Iako su nastavnici kemije u svim zadacima pokazali bolje razumijevanje od ostalih ispitanika, nizak postotak uspješnosti u pojedinim slučajevima svjedoči o potrebi obnavljanja i restrukturiranja njihova znanja. Rezultate nastavnika treba promatrati pod posebnim povećalom jer izrazito slabo razumijevanje modela kovalentne veze i struktura, utvrđeno u uzorcima učenika i studenata, može biti posljedica nedostatka znanja nastavnika.

Iako je iznesen općeniti sud o slabom razumijevanju učenika, studenata i nastavnika, ne može se ignorirati različite vrijednosti rezultata, ovisne o zadatku i konceptu na koji se odnose. Neke se rezultate i bez dublje analize može smatrati pokazateljima slabog razumijevanja. Takvih je najviše, posebno u uzorcima učenika i studenata. Međutim, valja znati postoje li i oni rezultati koji indiciraju zadovoljavajuće konceptualno razumijevanje svih skupina ispitanika, i ako postoje, koji su to.

Gilbert (1977) je predložio da se razumijevanje određenog konceptualnog područja smatra zadovoljavajućim ako više od 75 % učenika ili studenata u skupini točno odgovori na pitanje višestrukog izbora s 4 ili 5 ometača. Zadatci upotrijebljeni u ovoj studiji imali su, gledajući oba sloja, veći broj ometača pa se ne može rukovoditi Gilbertovim kriterijem. Dhindsa i Treagust (2009) modificirali su Gilbertov kriterij da bi odgovarao zadacima s više od 5 ometača. Upotrijebili su ga za analizu podataka prikupljenih instrumentom kakav je korišten u ovom istraživanju. Stoga je odabrano njihovo mjerilo. Pokazateljem zadovoljavajućeg konceptualnog razumijevanja skupine označili su 70 postotnu točnost u zadacima sa 6 ometača, odnosno 65 postotnu točnost u zadacima sa 7 ili 8 ometača.

Dobiveni podatci o postojanju ili izostanku zadovoljavajućeg konceptualnog razumijevanja u ispitivanim skupinama prikazani su u tablici 31.

Tablica 31. Pokazatelji zadovoljavajućeg konceptualnog razumijevanja koncepata u području kovalentne veze i struktura, u skupinama nastavnika, studenata i učenika. (*Zadovoljavajuće konceptualno razumijevanje označeno je znakom "+"; a nezadovoljavajuće, znakom "-".*)

Koncept	Br. zadatka	Br. ometača	Nastavnici	Studenti	Učenici
Polarnost veze	1.	6	+	+	-
	3.	6	+	-	-
	14.	6	+	-	-
Polarnost molekule	6.	7	-	-	-
	9.	6	-	-	-
	12.	7	+	-	-
Oblik molekule	2.	7	-	-	-
	5.	6	-	-	-
	8.	7	-	-	-
	13.	6	+	-	-
	15.	8	-	-	-
Struktura tvari	4.	6	-	-	-
	11.	6	+	-	-
Međumolekulske sile	7.	6	+	-	-
	12.	7	+	-	-
Pravilo okteta	10.	6	+	-	-
	15.	8	-	-	-

Tablica 31 pokazuje opseg problema nerazumijevanja koncepata u području kovalentnog vezivanja i struktura. Učenici i studenti (osim u slučaju određivanja položaja zajedničkog elektronskog para u molekuli fluorovodika) nisu pokazali zadovoljavajuće razumijevanje niti jednog koncepta iz tog područja. Nastavnici su, prema istom mjerilu, pokazali samo razumijevanje koncepata polarnost veze i međumolekulske sile. Ovakav zaključak, ipak, treba uzeti s rezervom jer kriterij za procjenu razumijevanja nastavnika treba biti stroži od kriterija

za procjenu razumijevanja učenika i studenata. Bez obzira na to, sa sigurnošću se može zaključiti da nastavnici kemije nisu pokazali zadovoljavajuće razumijevanje koncepata *polarnost molekule, pravilo okteta* i, posebice, *oblik molekule*.

Iako je u nekoliko studija, na uzorcima učenika (Peterson, Treagust i Garnett, 1989; Peterson i Treagust, 1989; Tan i Treagust, 1999, Kumpha, Suwannoi i Treagust, 2014) i studenata (Dhindsa i Treagust, 2009) iz različitih obrazovnih sustava utvrđeno nedostatno razumijevanje koncepata relevantnih za poimanje kovalentne veze i struktura, u znanstvenoj literaturi nisu pronađeni dokazi o uzrocima tog problema. Ni ovo istraživanje, utemeljeno na provedbi +KViS-a, nije dizajnirano za analizu uzroka stanja. Međutim, rezultati nastavnika omogućili su prepoznavanje jednog ishodišta problema u RH – nedovoljno razumijevanje nastavnika može biti uzrok nerazumijevanja njihovih učenika, pa i studenata.

O drugim se uzrocima može samo spekulirati. U tom smislu, zanimljiva je činjenica da su ispitanici, u pravilu, u bitno većem postotku iznašli rješenja prvih slojeva nego drugih slojeva zadataka. Slična je pojava utvrđena i u drugim istraživanjima u kojima se koristio Petersonov dijagnostički instrument. Dhindsa i Treagust (2009) takav su nalaz povezali s problemom frontalne nastave kojom se ohrabruje memoriranje informacija bez njihova povezivanja. Tako stečeno znanje osjetljivo je na protok vremena. U ovom je istraživanju +KViS proveden nakon što je, ovisno o razredu ili godini studija ispitanika, od obrade kovalentne veze i struktura u školi odnosno na fakultetu prošlo od 2 mjeseca do 4 godine. Stoga dio utvrđenih problema pripisanih nerazumijevanju može biti posljedica slabije usvojenosti znanja odnosno, izvorno, neadekvatnih oblika nastavnog rada.

3.2.2.6.4. Zaključak

Ovo istraživanje rezultiralo je spoznajom o nedovoljnom razumijevanju kemijskih koncepata iz područja kovalentnih veza i struktura značajnog broja učenika, studenata i nastavnika u RH. Problem je posebno izražen u populacijama učenika i studenata. Nastavnici su najviše poteškoća imali s polarnošću molekula, oblikom molekula, strukturom tvari i primjenom pravila okteta. Slika o slabom razumijevanju koncepata bitnih za poimanje kovalentne veze i struktura na svim razinama obrazovnog sustava upućuje na uzročno-posljedičnu povezanost problema nastavnika s problemima učenika i studenata.

3.2.2.6.5. Implikacije za nastavu

Rezultati ovog istraživanja mogu pomoći sadašnjim i budućim nastavnicima kemije u spoznavanju konkretnih pogrešnih poimanja učenika i studenata o kovalentnoj vezi i strukturama, te oblikovanju nastave kojom će se takvi problemi pokušati izbjeći ili riješiti. Na taj bi način rezultati ovog istraživanja izravno doprinijeli porastu MZ-a nastavnika kemije. S tim ciljem su najzastupljenija pogrešna poimanja o kovalentnim vezama i strukturama pregledno prikazana u tablici 32.

Tablica 32. Najzastupljenija pogrešna poimanja o kovalentnim vezama i strukturama

Koncept	Pogrešna poimanja o kovalentnim vezama i strukturama
Polarnost veze	Kovalentna veza je nepolarna – atomi u molekuli fluorovodika jednako snažno privlače podijeljeni elektronski par.
Polarnost molekule	Nepodijeljeni elektronski parovi perifernih atoma induciraju dipol i time molekulu čine polarnom. Molekula je polarna čim su atomi povezani polarnim vezama (prostorna građa molekule nije bitna). Molekula je polarna samo ako je razlika u elektronegativnosti njenih atoma velika.
Oblik molekule	Nepodijeljeni elektronski parovi središnjeg atoma ne utječu na oblik molekule. Savijeni, V-oblik molekule posljedica je odbijanja nepodijeljenih elektronskih parova (ne i podijeljenih) središnjeg atoma. Polarnost veze utječe na oblik molekule.
Struktura tvari	Između atoma u kristalu silicijeva karbida djeluju međumolekulske sile.
Međumolekulske sile	Razlika u jakosti međumolekulskih sila posljedica je razlike u jakosti kovalentnih veza. Međumolekulske sile su sile unutar molekula.
Pravilo okteta	Atom dušika u molekuli može dijeliti 5 elektronskih parova.

Pojedina pogrešna poimanja, izdvojena u tablici 32, ukazuju na nerazumijevanje pojmova *kovalentna veza*, *međumolekulske sile* i *pravilo okteta*. Poteškoće s njihovim značenjem mogu uzrokovati utvrđena nerazumijevanja konceptata *polarnost veze*, *polarnost molekule*, *oblik molekule* i *struktura tvari*. Stoga značenju tih pojmova treba pridati posebnu pozornost u nastavi kemije.

Ispitanici su najviše poteškoća imali s primjenom pravila i zakonitosti, posebice u situacijama u kojima se po prvi put susreću s pojedinim tvarima i strukturama, poput silicijeva karbida ili molekule kisikova difluorida. To upućuje na potrebu sustavnije primjene konceptata iz područja kovalentnih veza i struktura u nastavi obogaćenoj raznovrsnim primjerima.

Zbog apstraktne prirode, nastavni sadržaj o kovalentnoj vezi i strukturama preporučljivo je vizualizirati modelima, animacijama, simulacijama, crtežima i drugim prikladnim izvorima znanja.

Rezultati ovog istraživanja mogu se upotrijebiti za reviziju postojećih nastavnih materijala. Sveučilišni nastavnici mogu ih iskoristiti u osposobljavanju budućih nastavnika kemije. Pojava novih nastavnika u školama s MZ o kovalentnoj vezi i strukturama rezultirat će porastom razumijevanja učenika. Konačno, ponukani rezultatima ovog istraživanja, stručnjaci za kurikulum mogu provesti analizu usklađenosti učeničkog predznanja, kognitivnih sposobnosti u dobi od 15 godina (prvi razred srednje škole) i značajki sadržaja o kovalentnoj vezi i strukturama te, ovisno o nalazu, intervenirati u nastavni program kemije.

3.2.3. Razumijevanje modela ionskog vezivanja

3.2.3.1. Značajke modela ionskog vezivanja

U prvom dijelu ovog odjeljka opisano je istraživanje o percepciji ionskog vezivanja koje su iskazali učenici srednjih škola, studenti prirodoslovno-matematičkih fakulteta i srednjoškolski nastavnici kemije. Ipak, prije toga će, na nivou koji je prikladan za učenike srednjih škola, biti detaljnije navedene značajke znanstveno prihvaćenog modela vezivanja u ionskim tvarima:

- Svaka ionska tvar sastavljena je od pozitivno nabijenih iona (kationa) i negativno nabijenih iona (aniona) koji su organizirani u pravilnu trodimenzijsku strukturu.
- brojevi kationa i aniona su u omjerima sukladnima sastavu tvari (što je iskazano njezinom kemijskom formulom).
- Sastav i kemijska formula tvari određeni su nabojem kationa i nabojem aniona – relativni broj suprotno nabijenih iona je toliki da je ukupni naboj kristala nula.
- Svaki je kation okružen s točno određenim brojem najbližih susjednih aniona s kojima se jednako privlači. Broj najbližih susjednih aniona s kojima je povezan, naziva se koordinacijskim brojem kationa.
- Svaki je anion okružen točno određenim brojem najbližih susjednih kationa s kojima se jednako privlači. Broj najbližih susjednih kationa s kojima je povezan, naziva se koordinacijskim brojem aniona.
- Sveukupno elektrostatsko privlačenje kationa i aniona disperzirano kroz kristal ionske tvari, koje kristal drži na okupu, naziva se ionsko vezivanje.
- Broj suprotno nabijenih najbližih susjednih iona – koordinacijski broj promatranog iona – ne može biti izveden iz naboja (koji se nekad poistovjećuje s valencijom) tog iona.

3.2.3.2. Molekularni i elektrostatski okvir ionskog vezivanja

Veliki broj učenika na završetku formalnog obrazovanja ionsko vezivanje percipira kao prijenos elektrona (Taber, 2002a). Taber pretpostavlja da snaga ovog uvjerenja reflektira način na koji je tema prezentirana u udžbenicima ili od strane nastavnika. Kako bi bolje razumio takva i slična učenička poimanja ionskog vezivanja, Taber (1997) je tendenciju učeničkog promišljanja o parovima iona opisao *Molekularnim okvirom*. Specifična poimanja koja čine molekularni okvir mogu voditi k molekularnoj konceptualizaciji ionskog vezivanja. Taber ih je kanalizirao u tri karakteristična promišljanja i nazvao: *pretpostavka o valentnosti*, *pretpostavka o povijesti* i *"samo sile" pretpostavka*. Takva su promišljanja u suprotnosti sa

znanstveno utemeljenim, *elektrostatskim okvirom ionskog vezivanja*. Detaljniji opis molekularnog i elektrostatskog okvira dan je u tablici 33.

Tablica 33. Molekularni i elektrostatski okvir promišljanja o ionskom vezivanju (Taber, 1997)

Status	Molekularni okvir Alternativni okvir	Elektrostatski okvir Kurikularni okvir
Uloga molekula	Parovi iona <i>se ponašaju</i> kao molekule ionskih tvari.	Ionske strukture ne sadrže ionske parove – u kristalima nema izdvojenih parova iona.
Fokus	Prijenos elektrona je proces kojim nastaju ioni, odnosno ionske veze.	Između suprotno nabijenih iona u rešetkama djeluju sile.
Pretpostavka o valentnosti	Elektronska konfiguracija atoma određuje broj ionskih veza koje taj atom može ostvariti (npr. atom natrija može donirati samo jedan elektron pa može ostvariti samo jednu ionsku vezu s atomom klora).	Broj veza koje mogu nastati ne ovisi o valenciji ili naboju iona već o koordinacijskom broju (npr. koordinacijski broj svakog iona u natrijevu kloridu je 6).
Pretpostavka o povijesti	Veze nastaju samo između atoma koji doniraju ili prihvaćaju elektrone (npr. u natrijevu kloridu, kloridni je ion vezan na onaj ion natrija od kojeg je primio elektron, i obrnuto).	Elektrostatske sile ovise o veličini naboja i njihovoj udaljenosti, a ne prethodnoj konfiguraciji sustava (primjerice, u natrijevu kloridu, ion klora je vezan sa 6 susjednih iona natrija).
<i>Samo sile</i> pretpostavka	Ion je povezan sa svim ionima suprotnog naboja koji ga okružuju, ali samo s jednim ostvaruje ionsku vezu, dok je s ostalima povezan <i>samo silama</i> (ne vezama). (Primjerice, u natrijevu kloridu, kloridni je ion vezan samo s jednim ionom natrija, dok se s preostalim pet susjednih natrijevih iona ne povezuje vezama, nego <i>samo silama</i> .)	Kemijska veza je rezultat elektrostatskih sila – ionske veze nisu ništa više od toga (primjerice, sile između kloridnog iona i svakog od iona natrija koji ga okružuju su jednake).

Taber (1997) je nakon provedbe dijagnostičkog instrumenta *The Truth about Ionic Bonding* (TTAIB) na uzorku od 370 učenika potvrdio da su razmišljanja mnogih u skladu s pretpostavkama molekularnog okvira.

3.2.3.3. Istraživačko pitanje

Istraživačko pitanje kojim se vodio ovaj dio istraživanja glasi:

Kakvo razumijevanje koncepta ionskog vezivanja, u usporedbi s elektrostatskim modelom, iskazuju srednjoškolci, studenti i nastavnici kemije u RH?

3.2.3.4. Dijagnostički instrument

U ovom istraživanju upotrijebljena je prevedena verzija Taberovog (2002b) dijagnostičkog instrumenta *The truth about ionic bonding* (TTAIB). TTAIB sadrži 20 tvrdnji usklađenih s

pojedinin pretpostavkama Taberovog molekularnog ili elektrostatskog okvira ionskog vezivanja. Od ispitanika se očekivalo da svaku tvrdnju procjene kao točnu ili netočnu. Za razliku od izvornika, instrumentom provedenim u ovom istraživanju mjerena je i sigurnost ispitanika u ispravnost vlastitih procjena. Konkretno, nakon prosudbe svake tvrdnje točnom ili netočnom, ispitanici su iskazivali stupanj sigurnosti u svoju procjenu, birajući jednu od sljedećih mogućnosti: *tek nagađam*, *nisam sigurna/siguran* ili *sigurna/siguran sam*.

Autor ove disertacije i kritički prijatelj (M.O.) su, neovisno jedno o drugome, preveli TTAIB na hrvatski jezik. Nakon analize prevedenih tvrdnji i rasprave o značenju izvornog i prevedenog teksta sa stručnjakom s engleskog govornog područja (R.B.B.), usuglašeno je da konačna verzija prevedenog instrumenta, unatoč razlikama uvjetovanima različitim jezičnim diskursima, u najvećoj mogućoj mjeri odgovara Taberovom izvorniku. Takav, modificirani dijagnostički instrument nazvan je +TTAIB (Prilog 11).

Primjeni +TTAIB-a prethodila je usporedba njegova sadržaja sa srednjoškolskim programom kemije. Utvrđena je potpuna usklađenost. S obzirom na to da su tvrdnje trebale biti precizne i jezgrovite, posebna je pozornost pridana jasnoći i preciznosti rečeničnog izričaja. Pokazalo se da nekoliko tvrdnji u konačnoj verziji instrumenta, jednako kao i u originalu, tehnički nije potpuno precizno formulirano. Raspravljajući o tom problemu, autor TTAIB-a je zaključio da oblikovanje jasnih i nedvosmislenih tvrdnji, koje su u isto vrijeme sažete i lako razumljive, može biti vrlo izazovno (Taber i sur., 2012). Stoga je četiri tvrdnje (2, 4, 10 i 11) otvoreno izložio kritici jer se, u kontekstu molekularnog okvira, temelje na ideji o prijenosu elektrona između iona, pa, precizno gledajući, nisu pravilno konstruirane.

Primjerice, drugom (2.) se tvrdnjom izriče da je *Natrijev ion vezan samo s onim ionom klora kojem je donirao elektron*. To implicira da je svaki natrijev ion, a ne natrijev atom, donor elektrona. U kontekstu molekularnog okvira ionskog vezivanja ispravnija bila bi sljedeća tvrdnja: *Natrijev ion vezan je samo s onim ionom klora koji je elektron primio (još) kao atom klora reagirajući s atomom natrija od kojeg je nastao, na početku spomenuti, natrijev ion*. Složenost ovakvog izričaja, slažemo se s Taberom i sur. (2012), može biti veća prepreka za razumijevanje idejnog značenja nego upotrijebljena tvrdnja.

Postoje i drugi čimbenici koji mogu utjecati na dijagnostičku valjanost tvrdnji. Primjerice, tvrdnja 13 glasi: *Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula*. Prvi dio rečenice indicira postojanje molekula (natrijeva klorida, op. a.) sastavljenih od iona, a drugi dio implicira nepostojanje veza između molekula u kristalu natrijeva klorida. Ako

ispitanici tvrdnju procijene netočnom, ne može se znati je li to rezultat njihova neslaganja s prvim dijelom tvrdnje, drugim dijelom ili čitavom tvrdnjom.

3.2.3.5. Sudionici i kontekst istraživanja

S obzirom na to da je cilj bio saznati kakva razmišljanja o ionskom vezivanju iskazuju različiti sudionici hrvatskog obrazovnog sustava, +TTAIB je proveden na uzorcima učenika srednjih škola, studenata Prirodoslovno-matematičkih fakulteta i uzorku srednjoškolskih nastavnika. U ovom je istraživanju sudjelovalo 650 učenika, 264 studenta i 86 nastavnika kemije. Radi boljeg sagledavanja konteksta, u nastavku su navedene osnovne informacije o sudionicima ovog istraživanja.

U istraživanju su sudjelovali učenici srednjih škola iz različitih dijelova RH, geografski podijeljenih u četiri regije. Ipak, idealna raspodjela s obzirom na broj učenika koji žive u svakoj regiji nije postignuta. Instrument je primijenjen na većem broju učenika prvog razreda – tijekom kojega se, prema kurikulumu, obrađuje kemijsko vezivanje – nego učenika viših razreda.

U istraživanje su uključeni studenti preddiplomskih i diplomskih studija Prirodoslovno-matematičkih fakulteta u Splitu i Zagrebu te studenti Odjela za kemiju sa Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera iz Osijeka. Većina od 180 preddiplomaca, 89 s prve godine, 66 s druge godine i 25 s treće godine, upisana je u programe kemije te biologije i kemije. Od 84 studenta s diplomske razine, 43 su upisana u prvu godinu, a 41 u drugu godinu studija za nastavnika kemije.

Mnogo je informacija u znanstvenoj literaturi o učeničkim i studentskim pogrešnim poimanjima kemijskog vezivanja, ali izvješća o nastavničkom razumijevanju ove problematike nisu pronađena. Rezultati istraživanja nastavničkog poimanja kemijskog vezivanja mogu značajno utjecati na poučavanje te teme i učenje o pojedinim znanstvenim konceptima. Stoga je odlučeno provesti +TTAIB na uzorku nastavnika kemije iz RH. Osamdeset šest srednjoškolskih nastavnika kemije, iz sve četiri regije, pristalo je sudjelovati u istraživanju.

3.2.3.6. Prikupljanje i analiza podataka

Način prikupljanja podataka nije bio isti za sve skupine ispitanika. Učenici i studenti dobili su dvije skupine papira: na jednoj je bio otisnut +TTAIB, a na drugoj se nalazila kratka uputa za popunjavanje s praznim tablicama za upis rezultata procjene ispravnosti tvrdnji i sigurnosti u točnost procjene. Dijagnostički instrument popunjavan je anonimno, tijekom nastavnih sati, uz prisutnost nastavnika. Proces je obično trajao oko 20 minuta.

Otisnuta verzija +TTAIB-a nije mogla biti distribuirana u sve regije RH jer su adrese dijela nastavnika bile nedostupne istraživačima. Stoga je, pomoću *Google Docs-a*, izrađena web inačica +TTAIB-a. Svim srednjoškolskim nastavnicima (oko 650 njih) elektroničkom je poštom poslana zamolba za sudjelovanjem u istraživanju i poveznica na web stranicu s instrumentom. Prosudba valjanosti dijagnostičkih tvrdnji, kao i prosudba sigurnosti u ispravnost vlastitih procjena, iskazivala se klikom miša. Vrijeme za popunjavanje +TTAIB-a nije bilo ograničeno. U konačnici, osamdeset šest nastavnika je popunilo web instrument.

3.2.3.7. Ograničenja rezultata

Nekoliko je ograničenja koja mogu utjecati na pouzdanost rezultata. Već ranije su raspravljani nedostaci dijagnostičkog instrumenta: (a) neke tvrdnje tehnički nisu precizne i (b) nekoliko tvrdnji odnosi se na više od jedne ideje pa ostaje nejasno čime su se ispitanici vodili u procjeni ispravnosti tvrdnje.

Učenici i studenti su popunjavali dijagnostički instrument tijekom ograničenog vremena, u kontroliranim uvjetima učionice. Zbog toga su bili izloženiji stresnoj situaciji u odnosu na nastavnike koji su +TTAIB popunjavali *online*, gdje i kada im je odgovaralo. Ta nejednakost u provedbi istraživanja može utjecati na valjanost usporedbe rezultata različitih grupa ispitanika.

Kao u slučaju bilo kojeg *papir-olovka* dijagnostičkog instrumenta, istraživači dobivaju samo odgovore (prosudbe) ispitanika, dok je mogućnost interpretacije razmišljanja koje je dovelo do odgovora, u pravilu, ograničena. U skladu s time, rezultati ovog istraživanja o ionskom vezivanju prvenstveno su odraz odgovora ispitanika, a ne njihova razmišljanja. S druge strane, umješnost strukturiranja ovakvog instrumenta iskazuje se u većoj sigurnosti istraživača pri interpretaciji razmišljanja ispitanika.

3.2.3.8. Prikaz i interpretacija rezultata

Rezultati su prikazani u odjeljcima, sukladno različitim konceptualizacijama Taberovog molekularnog (1997) okvira i elektrostatskog okvira ionskog vezivanja. Na jednak su način, kao dio ovog doktorskog istraživanja, zajedno s raspravom i metodološkim značajkama, i publicirani (Vladušić i sur. 2016b).

3.2.3.8.1. Koherentnost s elektrostatskim okvirom ionskog vezivanja

Prosudbe sedam tvrdnji +TTAIB-a mogu pokazati jesu li predodžbe ispitanika koherentne s elektrostatskim okvirom ionskog vezivanja. Među njima, šest je tvrdnji konzistentno s

činjenicama tog okvira (1, 7, 8, 9, 15 i 19) dok je jedna (20) u suprotnosti s njima. U tablici 34 prikazan je postotak ispitanika iz triju skupina koji su ispravno prosudili valjanost sedam navedenih tvrdnji, odnosno postotak onih koji su tvrdnje 1, 7, 8, 9, 15 i 19 označili točnima, a tvrdnju 20 netočnom. Brojevi u zagradama pokazuju postotak sudionika iz svake grupe koji su točnu procjenu postigli nagađajući odgovor.

Tablica 34. Postotci sudionika koji su ispravno procijenili valjanost tvrdnji koje se odnose na elektrostatsku konceptualizaciju ionskog vezivanja.

Tvrdnje	Nastavnici	Studenti	Učenici
1. Pozitivno nabijeni ion će biti privučen bilo kojim negativno nabijenom ionu.	72,1 (3,2)	89,7 (2,1)	83,8 (7,7)
7. Ionskom vezom nazivamo privlačenje između pozitivnih i negativnih iona.	80,2 (0,0)	69,1 (1,1)	71,1 (8,2)
8. Pozitivni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim negativnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.	84,9 (4,1)	65,4 (9,3)	64,9 (14,5)
9. Negativni ion može biti privučen bilo kojim pozitivnim ionom.	79,1 (1,5)	65,8 (6,4)	61,6 (9,8)
15. Razlog nastajanja veze između kloridnog i natrijevog iona je taj što su oni suprotnog naboja.	83,7 (2,8)	71,6 (2,6)	72,6 (9,6)
19. Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.	81,4 (5,7)	71,5 (4,7)	67,4 (14,7)
20. Na shemi nema prikazanih molekula.	91,9 (6,3)	68,1 (3,4)	57,4 (13,2)

(nastavnici $N = 86$, studenti $N = 264$, učenici $N = 650$)

Podatci iz tablice 34 pokazuju da se većina sudionika, sa svih razina obrazovanja, slaže s tvrdnjama 1, 7, 8, 9, 15 i 19 koje su koherentne s elektrostatskim modelom ionskog vezivanja, a ne slaže s tvrdnjom 20. Ipak, znatan je broj učenika, studenata, pa čak i nastavnika, iskazao pogrešna poimanja. Primjerice, gotovo 30 % učenika i studenata te 16 % nastavnika iskazuju neslaganje s fundamentalnim principom izraženim tvrdnjom 15. Osim toga, 43 % se učenika, 32 % studenata i čak 8 % nastavnika složilo s tvrdnjom 20. Očito je da konceptualizacije mnogih učenika, studenata i nastavnika nisu koherentne s elektrostatskim modelom ionskog vezivanja.

Kao što se i očekivalo, u svim je slučajevima, osim u slučaju tvrdnje 1, više nastavnika nego učenika i studenata točno procijenilo valjanost tvrdnji. Ipak, manje se nastavnika nego učenika i studenata složilo s tvrdnjom 1. Zanimljivo je da se manji broj nastavnika složilo s tom tvrdnjom nego s bilo kojom drugom točnom tvrdnjom, dok je veći broj učenika i studenata točno procijenilo tu tvrdnju više nego bilo koju drugu. Može se samo spekulirati je li uzrok opaženoj *anomaliji* kemijsko nerazumijevanje ili pogrešna interpretacija tvrdnje. Razumljivo je da neki nastavnici, s većim znanjem od učenika i studenata, mogu dublje razmatrati značenje

tvrdnji. Primjerice, dok se ideja tvrdnje 1 temelji na neusmjerenosti ionskog vezivanja (konkretno, ionsko vezivanje pozitivnog iona nije ograničeno samo na međudjelovanje s jednim susjednim anionom), pojedini su je nastavnici možda procijenili netočnom promišljajući da su neki negativni ioni u kristalu previše udaljeni za značajnije vezivanje, ili da ioni između njih mogu biti prepreka njihovom međudjelovanju.

Uspoređujući sve rezultate, značajno je viši postotak učenika nego studenata i nastavnika nagađao (i pogodio) točne odgovore. U slučajevima nekoliko tvrdnji taj je postotak visok pa rezultate učenika treba interpretirati s oprezom.

3.2.3.8.2. Koherentnost s Taberovim molekularnim okvirom ionskog vezivanja

U ovom se dijelu iskazuje i raspravlja mjera u kojoj su konceptualizacije sudionika istraživanja koherentne s pojedinim idejama Taberovog molekularnog okvira ionskog vezivanja. Slaganje s 14 tvrdnji iz +TTAIB-a (2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18 i 20) može ukazati na alternativna poimanja sukladna s Taberovim molekularnim okvirom ionskog vezivanja. Rezultati su prikazani i raspravljani zasebno, u kontekstu odgovarajuće pretpostavke Taberova molekularnog okvira.

3.2.3.8.2.1. Pretpostavka o povijesti

Taberov molekularni okvir ionskog vezivanja može biti prepoznat kod onih koji ionsko vezivanje percipiraju kao prijenos elektrona s jednog atoma na drugi. Konceptualizacije dijela tih učenika, studenata i nastavnika koherentne su s *pretpostavkom o povijesti* koja označava ideju o uspostavljanju ionskih veza samo između dvaju iona nastalih simultanom izmjenom elektrona. Naglasak je na zajedničkoj povijesti kationa i aniona (Taber i sur., 2012). Koncept zajedničkih i neusmjerenih (ili mnogostrano usmjerenih) elektrostatskih privlačenja suprotno nabijenih iona kroz kristal iz perspektive *pretpostavke o povijesti*, smatra se pogrešnim.

Pet tvrdnji upotrijebljenih u +TTAIB-u (2, 4, 10, 11 i 18) specifično je oblikovano i upotrijebljeno za identifikaciju konceptualizacija koherentnih s *pretpostavkom o povijesti*. Rezultati su prikazani u tablici 35 gdje u svakom od slučajeva, broj u zagradama predstavlja postotak ispitanika koji su nagađali odgovor.

Tablica 35. Postotci ispitanika s točnim procjenama ispravnosti tvrdnji (*oni se, dakle, nisu se složili s tvrdnjama*) koje se odnose na pretpostavku molekularnog okvira ionskog vezivanja o *povijesti*.

Tvrdnje	Nastavnici	Studenti	Učenici
2. Natrijev ion vezan je samo s onim ionom klora kojem je donirao elektron.	69,8 (1,7)	60,2 (6,9)	54,9 (13,4)
4. Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.	32,6 (0,0)	31,9 (6,0)	27,4 (19,8)
10. Nije moguće utvrditi gdje su uspostavljene ionske veze, osim ako znamo koji su natrijevi i kloridni ioni sudjelovali u izmjeni elektrona.	52,3 (8,9)	47,5 (20,8)	38,1 (28,0)
11. Kloridni ion vezan je samo s onim ionom natrija od kojeg je primio elektron.	67,4 (5,2)	48,9 (5,4)	40,1 (20,1)
18. Ionska veza je kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske.	31,4 (3,7)	35,0 (9,8)	31,7 (17,6)

(nastavnici $N = 86$, studenti $N = 264$, učenici $N = 650$)

U svakom od slučajeva, iskaz neslaganja s tvrdnjom pokazatelj je točne procjene njezine ispravnosti. Što je niži postotak ispitanika s točnom procjenom (dakle onih koji su tvrdnje procijenili netočnima), viši je postotak ispitanika čije su konceptualizacije koherentne s pretpostavkom molekularnog okvira ionskog vezivanja o *povijesti*.

Rezultati pokazuju veliku zastupljenost pogrešnih predodžbi sukladnih s *pretpostavkom o povijesti*. Većina učenika, nastavnika i studenata vjeruje da je prijenos elektrona s atoma natrija na atom klora razlog zbog kojeg dolazi do nastajanja veze među nastalim ionima (tvrdnja 4). Podjednako se velik postotak ispitanika slaže s tvrdnjom 18, iako ona pruža dvije osnove za neslaganje. Prema njoj, ionska veza je prijenos elektrona između atoma, a uzrok nastajanja veze je *težnja* atoma za popunjavanjem vanjske ljuske.

Više je sudionika istraživanja iskazalo neslaganje s tvrdnjama 2, 10 i 11 nego s tvrdnjama 4 i 18. Ipak, veliki se broj učenika, studenata i nastavnika složio s tvrdnjama 2, 10 i 11, od kojih sve tri eksplicitno povezuju položaj ionskih veza s točno određenim parovima iona natrija i klora nastalih prijenosom elektrona.

3.2.3.8.2.2. *Pretpostavka o valentnosti*

Prema Taberovoj klasifikaciji konceptualizacija ionskog vezivanja, *pretpostavka o valentnosti* dio je šireg pogleda utemeljenog na ideji o ionskoj vezi kao rezultatu prijenosa elektrona između atoma. *Pretpostavka o valentnosti* naziv je pogrešne predodžbe prema kojoj je broj suprotno nabijenih iona s kojima promatrani ion može ostvariti ionsku vezu ograničen brojem elektrona koje je primio ili otpustio prilikom nastajanja. Takva ideja o valentnosti iona određena je, dakle, elektronskom konfiguracijom atoma.

Četiri su tvrdnje iz +TTAIB-a (3, 12, 14 i 17) upotrijebljene za identifikaciju konceptualizacija ispitanika koherentnih s Taberovom *pretpostavkom o valentnosti*. U svakom od slučajeva, slaganje s tvrdnjom upućuje na sukladnost razmišljanja ispitanika o ionskom vezivanju i *pretpostavke o valentnosti*. Rezultati su prikazani u tablici 36. Točna je procjena indicirana neslaganjem s tvrdnjom. Broj u zagradama predstavlja postotak ispitanika koji su nagađali odgovor.

Tablica 36. Postotci ispitanika s točnim prosudbama tvrdnji koje se odnose na *pretpostavku o valentnosti*.

Tvrdnje	Nastavnici	Studenti	Učenici
3. Atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati.	46,5 (5,0)	31,4 (3,6)	20,7 (23,3)
12. Atom klora može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u njegovu vanjsku ljusku stane još samo jedan elektron.	47,7 (2,4)	33,3 (10,2)	26,7 (21,6)
14. Negativno nabijeni ion može biti privučen samo jednom pozitivnom ionu.	79,1 (2,9)	73,4 (6,2)	57,3 (15,7)
17. Pozitivno nabijeni ion može biti privučen samo jednom negativnom ionu.	79,1 (4,4)	67,0 (6,8)	60,2 (17,4)

(nastavnici $N = 86$, studenti $N = 264$, učenici $N = 650$)

Rezultati pokazuju da su razmišljanja znatnog dijela učenika, studenata i nastavnika koherentna s pretpostavkom Taberova molekularnog okvira o valentnosti. Tvrdnje 14 i 17 odnose se na neodređeni pozitivni i negativni ion. Iako se ne navodi razlog zašto bi svaki od njih privlačio samo jedan suprotno nabijeni ion, čak 30 % učenika, 40 % studenata i 20 % nastavnika procjenjuje ih točnima. Još veću zabrinutost izaziva spoznaja da se većina sudionika složila s tvrdnjama 3 i 12. Predodžbe o popunjenoj vanjskoj ljusci kao *pokretačkoj sili* kemijskog vezivanja evidentirane su i u drugim obrazovnim sustavima (Taber 2002a, Taber i sur., 2012).

Zanimljivo, i otvoreno spekulacijama, značajno veći broj ispitanika slaže se s tvrdnjama 3 i 12 nego s tvrdnjama 14 i 17. Tvrdnje 3 i 12 sadrže sud koji korespondira s tvrdnjama 14 i 17, ali i razlog (*jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati*) koji eksplicitno upućuje na pretpostavku o valentnosti. Dakle, za razliku od tvrdnji 14 i 17, tvrdnje 3 i 12 nude dvije mogućnosti za neslaganje. Unatoč tome, veći se broj ispitanika slaže s njima. Uz navedeno, postoji mogućnost da se neki ispitanici nisu složili s tvrdnjama 3 i 12 jer se one odnose na atome, a ne ione. Kada bi se taj ometač uklonio (dakle, kada bi se u tvrdnjama 3 i 12 referirali na ione, a ne na atome), vjerojatno bi postotak onih koji ih smatraju točnima bio još veći.

3.2.3.8.2.3. "Samo sile" pretpostavka

U znanstvenoj su literaturi opisane predodžbe učenika i studenata koji povezanost jednog natrijevog kationa s jednim anionom klora vide kao ionsku vezu, dok povezanost s drugim susjednim anionima klora doživljavaju samo silama (Taber, 1994, 1997, 1998; Taber i sur., 2012). Drugim riječima, između jednog kationa i svih najbližih susjednih aniona djeluju privlačne sile, a u tom međudjelovanju postoji (samo) jedna usmjerena i specifična interakcija koja se može nazvati ionskom vezom.

Trima se tvrdnjama iz +TTAIB-a, 5, 13 i 16, utvrđivalo postojanje takvog razmišljanja. Rezultati su prikazani u tablici 37. U svakom od slučajeva, neslaganje s tvrdnjom značilo je točnu procjenu ispravnosti tvrdnje. Broj u zagradama predstavlja postotak ispitanika koji su nagađali odgovor.

Tablica 37. Postotci ispitanika s točnim procjenama ispravnosti tvrdnji koje se odnose na pretpostavku molekularnog okvira ionskog vezivanja o tek silama.

Tvrdnje	Nastavnici	Studenti	Učenici
5. Prema shemi, kloridni je ion privučen jednom ionu natrija tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima natrija povezan samo silama.	62,8 (1,8)	51,1 (12,2)	49,0 (16,7)
13. Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula.	89,5 (3,9)	71,1 (10,7)	65,5 (16,5)
16. Prema shemi, natrijev je ion privučen jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama.	58,1 (2,0)	44,3 (12,0)	40,1 (22,0)

(nastavnici $N = 86$, studenti $N = 264$, učenici $N = 650$)

Rezultati i ovoga puta daju razlog za brigu. Odgovori na tvrdnje 5 i 16 pokazuju da 50 % i više učenika i studenata te oko 40 % nastavnika kemije, shemu sloja kristala natrijeva klorida interpretira kao skup aniona i kationa u kojem svaki kation natrija tvori vezu s jednim anionom klora, i obrnuto, dok se s ostalim susjednim ionima povezuju *samo silama*. Iznenaduje zastupljenost takvog razmišljanja, iako niti jedan detalj na shemi ne upućuje na zaključak o jednoj vezi i silama. Odgovori na tvrdnju 13 ukazuju da značajan broj učenika i studenata, pa čak i nastavnika, vizualizira molekule na shemi natrijeva klorida.

3.2.3.8.2.4. Konceptualizacija molekula ionskih tvari

Neki od ranije interpretiranih rezultata upućuju na učeničku, studentsku i nastavničku konceptualizaciju izdvojenih jedinki, odnosno parova iona u strukturi natrijeva klorida. Rezultati prosudbi tvrdnji 6, 13 i 20 otkrivaju problem percepcije molekula u ionskim spojevima. Valjano razmišljanje o strukturi ionskih tvari (u kojima nema diskretnih molekula,

op. a.) indicirano je neslaganjem s tvrdnjama 6 i 13, odnosno slaganjem s tvrdnjom 20. Rezultati su prikazani u tablici 38. Broj u zagradama predstavlja postotak ispitanika koji su nagađali odgovor.

Tablica 38. Postotci ispitanika s točnim procjenama ispravnosti tvrdnji koje se odnose na koncepciju molekula u ionskim tvarima

Tvrdnje	Nastavnici	Studenti	Učenici
6. Prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan natrijev i jedan kloridni ion.	72,1 (1,6)	51,1 (6,7)	39,1 (14,2)
13. Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula.	89,5 (3,9)	71,1 (10,7)	65,5 (16,5)
20. Na shemi nema prikazanih molekula.	91,9 (6,3)	68,1 (3,4)	57,4 (13,2)

(nastavnici $N = 86$, studenti $N = 264$, učenici $N = 650$)

Tvrdnjom 20 se izražava sud koji nije opterećen dodatnim varijablama (kao što je, primjerice, slučaj s tvrdnjom 3), niti ga je potrebno interpretirati. Jednostavno, trebalo je promotriti shemu i zaključiti ima li na shemi prikazanih molekula ili ih nema. Ohrabrujuće je, s jedne strane, što je 92 % nastavnika potvrdilo ispravnost tvrdnje, ali zabrinjava, s druge strane, što je 8 % nastavnika na shemi natrijeva klorida prepoznalo molekule iako u tom prikazu nema uporišta za takav zaključak. U usporedbi s relativno malim postotkom nastavnika s pogrešnom procjenom, znatan udio učenika i studenata tvrdnju 20 procjenjuje netočnom. Teško je ovakav rezultat interpretirati drugačije osim da su ti ispitanici analizirajući shemu natrijeva klorida zamišljali molekule ili parove iona. Značajan se postotak ispitanika, u svim uzorcima, složio s tvrdnjama 6 i 13, kojima se implicira postojanje molekula.

Usporedba prosudbi ispitanika pokazuje nedosljednost koju vrijedi istaknuti. Konkretno, 28 % nastavnika misli da, prema shemi, postoje molekule natrijeva klorida (tvrdnja 6) dok ih *samo* 8 % prepoznaje na shemi (tvrdnja 20).

3.2.3.8.3. Pouzdanost prosudbi

Podatci prikupljeni ovim istraživanjem nisu vrijedni ukoliko su ispitanici odgovarali nasumično ili nepromišljeno. Većina se istraživanja temelji na pretpostavci o pozornom i savjesnom promišljanju ispitanika tijekom rada s dijagnostičkim instrumentom, tako da odgovori omogućuju pouzdan uvid u njihove predodžbe. Relativno veliki broj ispitanika koji su sudjelovali u istraživanju o razumijevanju ionskog vezivanja pozitivan je čimbenik u kontekstu pouzdanosti rezultata. Dodatno, upotrijebljeni instrument, +TTAIB, zbog specifične strukture, omogućuje procjenu stupnja pouzdanosti odgovora. Naime, +TTAIB sadrži nekoliko parova tvrdnji kojima se izriče isto ili slično, pa se očekuje da bi ispitanici obje tvrdnje iz

svakog para trebali jednako prosuditi. Primjerice, za očekivati je da bi se ispitanici trebali jednako odrediti prema tvrdnjama 14 i 17 (tablica 36), bez obzira složili se s njima ili ne. Broj ispitanika s identičnim odgovorima (bez obzira jesu li obje tvrdnje prosudili točno ili pogrešno) indikator je stabilnosti njihova razumijevanja i mjera sigurnosti u pouzdanost podataka.

Cijeli set parova tvrdnji upotrijebljenih za procjenu pouzdanosti uključuje tvrdnje 7 i 15 (tablica 39), 2 i 11 (tablica 40), 14 i 17 (tablica 41) te 5 i 16 (tablica 42). Postotci ispitanika koji su jednako prosudili obje tvrdnje svakog para prikazani su u tablicama 39, 40, 41 i 42.

Tablica 39. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 7 i 15

	Nastavnici		Studenti		Učenici	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
Obje točne	62	72,1	144	54,5	365	56,2
Obje netočne	7	8,1	37	14,0	82	12,6
Ukupno	69	80,2	181	68,6	447	68,9

(nastavnici *N* = 86, studenti *N* = 264, učenici *N* = 649)

Tablica 40. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 2 i 11

	Nastavnici		Studenti		Učenici	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
Obje točne	54	62,8	106	40,2	184	28,3
Obje netočne	22	25,6	82	31,1	216	33,2
Ukupno	76	88,4	188	71,2	400	61,5

(nastavnici *N* = 86, studenti *N* = 264, učenici *N* = 650)

Tablica 41. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 14 i 17

	Nastavnici		Studenti		Učenici	
	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%	<i>N</i>	%
Obje točne	65	75,5	155	58,7	272	41,9
Obje netočne	15	17,4	48	18,2	159	24,5
Ukupno	80	92,9	203	76,9	431	66,4

(nastavnici *N* = 86, studenti *N* = 264, učenici *N* = 649)

Tablica 42. Postotak ispitanika koji su identično procijenili tvrdnje 5 i 16

	Nastavnici		Studenti		Učenici	
	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Obje točne	46	53,5	89	33,7	184	28,4
Obje netočne	28	32,6	101	38,3	255	39,3
Ukupno	74	86,0	190	72,0	439	67,6

(nastavnici *N* = 86, studenti *N* = 264, učenici *N* = 649)

Koherentnost odgovora ispitanika s *uparenim* tvrdnjama provjerava se tijekom evaluacije instrumenta, u cilju prosudbe njihove valjanosti. Lako je zamisliti da, primjerice, različiti

sudionici različito interpretiraju dvosmislene tvrdnje. Takvi odgovori, jasno, nisu relevantni pokazatelji znanja. S druge strane, odgovore nekoherentne s tvrdnjama kojima se izriče isto, mogu uzrokovati i vanjski čimbenici kojima su ispitanici izloženi. Primjerice, dugotrajno testiranje, kao i uvjeti u kojima se ono provodi, mogu utjecati na nepromišljeno ili površno odgovaranje. Također, utvrđeno je (Taber, 2000b, 2001b) da pojedini ispitanici, u određenim situacijama, mogu biti u *stanju fluidnosti* između dvaju ili više konkurentnih konceptualnih objašnjenja. U takvom, nestabilnom kognitivnom stanju, male razlike između tvrdnji kojima se izriče isto, ili okolnosti u trenucima kada se razmatra svaka od njih, mogu rezultirati prosudbama utemeljenima na različitim konceptualnim okvirima. Ipak, bez obzira na razloge, različite prosudbe parova usklađenih tvrdnji slabe pouzdanost podataka kao temelja za zaključivanje o razumijevanju ispitanika.

Dovoljno je nedosljednosti u prosudbama tvrdnji iz svakog para, koja, zajedno s postotkom onih koji su nagađali odgovore, pokazuje da se ne može biti potpuno siguran u pouzdanost rezultata iskazanih u tablicama od 34 do 38. Ipak, podatci su dovoljno pouzdani da se može zaključiti da je većina ispitanika tvrdnje iz +TTAIB-a prosudila na stabilan i sustavan (neslučajan) način. Stoga se sa sigurnošću može potvrditi postojanje pogrešnih poimanja pojedinih ispitanika iz svih grupa.

Uvjerljivosti ovakvog zaključka doprinosi i činjenica da su postotci ispitanika s identično procijenjenim tvrdnjama iz svakog para, u značajnoj mjeri neovisni o postotcima točnih i netočnih prosudbi tih tvrdnji. Primjerice:

- Postotak točnih prosudbi uparenih tvrdnji 7 i 15, te 14 i 17, iskazan u tablicama 39 i 41, mnogo je veći od postotka uparenih tvrdnji 5 i 16, prikazanih u tablici 37. Međutim, stabilnost prosudbi u svim je slučajevima bila podjednaka.
- Iako je razlika između postotka uspješnih prosudbi uparenih tvrdnji 2 i 11, prikazanih u tablici 40, relativno velika, većina je ispitanika pokazala stabilnost prosudivši obje tvrdnje točnima, odnosno netočnima.

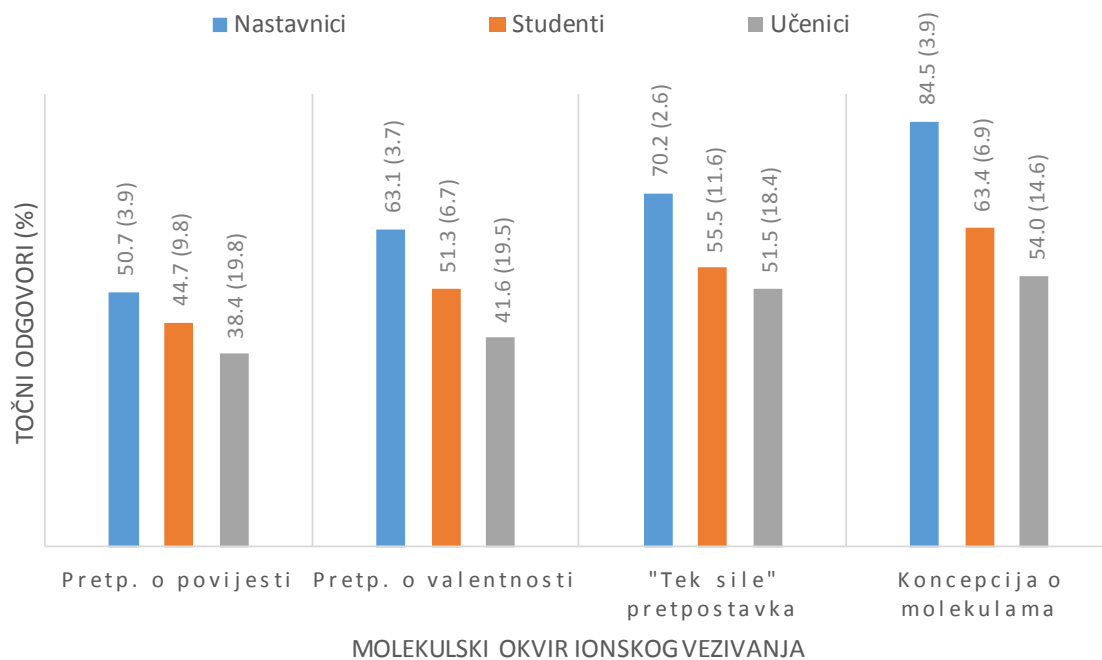
3.2.3.9. Rasprava

Najznačajniji opći zaključak donesen temeljem rezultata ovog dijela istraživanja je da veliki broj učenika i studenata, pa i nastavnika, nije pokazao razumijevanje elektrostatskog modela ionskog vezivanja, uključenog u srednjoškolski kurikulum. Kao jedan od znakovitijih pojedinačnih rezultata izdvaja se onaj (tablica 34) koji pokazuje neslaganje 8 % nastavnika s tvrdnjom 20: *Na shemi nema prikazanih molekula*. Valja istaknuti i promišljanja gotovo 70 %

nastavnika koja su koherentna s pretpostavkom Taberova molekularnog okvira *o povijesti* prema kojoj se ionske veze uspostavljaju samo između parova iona nastalih prijenosom elektrona (tvrdnje 4 i 18, tablica 35).

Više od 50 % nastavnika iskazalo je pogrešna poimanja o interakcijama pojedinog iona sa susjednim, suprotno nabijenim ionima. Čini se da ona nastaju zbog razmatranja ionskih interakcija u kontekstu *valencije* kovalentnih spojeva. Tome, primjerice, svjedoči slaganje nastavnika s tvrdnjom 3 (tablica 36) prema kojoj natrijev ion može tvoriti samo jednu ionsku vezu jer je (kao atom, op. a.) imao samo jedan elektron u vanjskoj ljusci za doniranje. Približno 40 % nastavnika iskazalo je uvjerenja koherentna s Taberovom pretpostavkom o *samo silama* slažući se sa tvrdnjama 5 i 16 (tablica 37). Ti nastavnici ne doživljavaju sva elektrostatska međudjelovanja suprotno nabijenih iona kao ionsko vezivanje – interakciju zamišljenog iona s jednim od susjednih iona smatraju ionskom vezom, a interakcije s ostalim susjednim ionima – tek privlačnim silama. Ideja o molekulama na shemi kristala natrijeva klorida nije prepoznata samo od 8 % nastavnika koji se nisu složili s tvrdnjom da na toj shemi nema molekula, već i od 28 % onih koji su tvrdnju 6 (tablica 38) *Prema shemi, svaka molekula natrijevog korida sadrži jedan natrijev i jedan kloridni ion*, prosudili točnom.

Ako su nastavnici najutjecajniji čimbenik izgradnje znanja učenika, tada postoji razlog za zabrinutost kvalitetom nastavnog okruženja u kojem se ionsko vezivanje poučava u RH. Čak i kada nastavnici imaju kvalitetno znanje kemije, izazov za svakog od njih je razviti MZ koje će, uz valjanu uporabu jezika nastave kemije, omogućiti planiranje i provedbu efektivnih strategija, metoda i oblika rada, a sve u cilju postizanja učeničkog razumijevanja konkretnih kemijskih koncepata i teorija. Kvalitetno se MZ ne može izgraditi na temelju nekvalitetnog znanja sadržaja (kemije). Ohrabruje tek činjenica da je u svim slučajevima, osim u slučaju tvrdnje 1 (tablica 34) i tvrdnje 18 (tablica 35), veći postotak nastavnika nego učenika i studenata ispravno procijenio valjanost tvrdnji +TTAIB-a. Odnosi točnih prosudbi svih triju grupa ispitanika mogu se iščitati iz slike 2 koja prikazuje postotak točnih procjena svih tvrdnji grupiranih prema pretpostavkama Taberova molekularnog okvira ionskog vezivanja na koje se odnose.



Slika 2. Postotci točnih prosudbi valjanosti svih tvrdnji prema pretpostavkama Taberova molekularnog okvira na koje se tvrdnje odnose. U svim slučajevima broj u zagradama označava postotak ispitanika koji su nagađali.

Imajući na umu da netočne prosudbe indiciraju koherentnost promišljanja ispitanika s Taberovim pretpostavkama molekularnog okvira, podatci sa slike 2 pokazuju da su sve pretpostavke molekularnog okvira najzastupljenije među učenicima, potom među studentima, a najmanje su zastupljene u uzorku nastavnika. Razlike između postotka nastavnika, studenata i učenika koji nisu pokazali adekvatno znanje još su izraženije ako uzmemo u obzir relativno visoki postotak studenata i, posebice učenika, koji su nagađali odgovore.

Iako razočaravajuće visok postotak nastavničkih odgovora (49 %, 37 % i 30 %) indicira koherenciju njihovih konceptualizacija s *pretpostavkama o povijesti, valenciji i "samo silama"*, relativno mali postotak odgovora nastavnika (15 %) u odnosu na postotak studenata (37 %) i učenika (47 %), ipak ukazuje na konceptualizaciju molekula ionskih spojeva. Premda se prepoznaje kontradiktornost relativno visokog postotka nastavnika čija su promišljanja u skladu s *pretpostavkama o povijesti, valenciji i "samo silama"*, u odnosu na relativno mali postotak odgovora koji sugeriraju promišljanja o molekulama ionskih tvari, nema dovoljno podataka da bi je se objasnilo.

Podatci sa slike 2 pokazuju da je u svim grupama ispitanika *pretpostavka o povijesti* najrašireniji element molekularnog okvira ionskog vezivanja. Zanimljiva je činjenica da se zastupljenost pretpostavki molekularnog okvira u svim grupama ispitanika povećava slijedom:

konceptija o molekulama – pretpostavka o *samo silama* – pretpostavka o valentnosti – pretpostavka o povijesti.

Ukratko, značajan broj nastavnika nije pokazao prikladno razumijevanje strukture ionskih tvari. Također, ni studenti nisu pokazali zadovoljavajuće razumijevanje o ionskom vezivanju. Činjenica da će znatan dio studenata uključenih u ovo istraživanje postati nastavnici kemije otkriva pravu dubinu problema. Ako ne isprave ili barem osvijeste svoja pogrešna poimanja o ionskom vezivanju, sutra, kada budu poučavali kemiju u školama, uzrokovat će pogrešna poimanja svojih učenika. Podatci prikupljeni ovim istraživanjem indiciraju upravo takvu situaciju u obrazovnom sustavu RH.

Ovim istraživanjem otkriven je ozbiljan problem sustava koji se odnosi na jednu od tema kemijskog kurikulumu. Je li ovo izoliran slučaj ili postoje slični problemi u kontekstu drugih kemijskih tema, ne zna se, ali jasno je da je traženje odgovora na to pitanje vrijedno novih istraživanja.

3.2.3.9.1. Spekulacije o podrijetlu pogrešnih poimanja

Primarni izvori učeničkog razumijevanja su, bez obzira bilo ono dobro ili loše, nastavnici i udžbenici. Razmotrimo mogućnost da utvrđena pogrešna poimanja o ionskom vezivanju proizlaze upravo iz tih izvora.

O pretpostavci o povijesti

Najzastupljenija se pogrešna poimanja o vezivanju u natrijevu kloridu i sličnim tvarima odnose na *pretpostavku o povijesti* prema kojoj je ionsko vezivanje posljedica prijenosa elektrona, a veza se uspostavlja između donora i akceptora u tom procesu.

Izvor ovakvog pogrešnog poimanja su udžbenici. Gotovo bez iznimke, poglavlje o ionskom vezivanju u srednjoškolskim udžbenicima odobrenim u RH, započinje opisom nastajanja pozitivnog i negativnog iona prijenosom elektrona, obično između atoma natrija i atoma klora. Slika 3, kopirana iz jednog od tri važeća udžbenika kemije, navodno opisuje nastajanje ionske veze.

Udžbenički opis nastajanja para natrijeva i kloridnog iona uporabom Lewisove simbolike nalikuje načinu kojim se uobičajeno prikazuje nastajanje kovalentne veze. S obzirom na to da su kovalentne veze usmjerene između jezgara, ovakvi prikazi mogu uzrokovati pogrešna poimanja o usmjerenosti ionskih veza. Na žalost, opisani detalji, prikazani u različitim udžbenicima, sugeriraju usporedivost nastajanja *ionske* i kovalentne veze, umjesto da jasno naglase razliku između njih.

O pretpostavci o valentnosti

Prema uvjerenju koherentnom s Taberovom pretpostavkom o valentnosti, broj suprotno nabijenih iona koji se mogu smatrati izravno privučenima s razmatranim ionom ovisi o elektronskoj konfiguraciji atoma od kojeg je taj ion nastao. Primjerice, natrijev atom (sa s^1 konfiguracijom vanjske ljuske) može otpustiti samo jedan elektron pa u čvrstom natrijevom kloridu svaki Na^+ ion ostvaruje jednu vezu s Cl^- ionom. U stvarnosti je broj suprotno nabijenih najbližih susjednih iona, kojeg nazivamo koordinacijskim brojem (6 u NaCl) određen trodimenzijskim rasporedom iona u kristalu koji se pak može objasniti temeljem naboja i veličina iona.

Naboji jednostavnih iona donekle ovise o elektronskoj konfiguraciji atoma od kojih su izvedeni. Naboji kationa i aniona određuju stehiometriju kristala pa prema tome i njegovu formulu, ali ne i koordinacijski broj kationa i aniona.

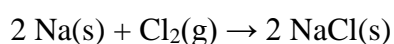
O "samo sile" pretpostavci

Nevezano uz podudaranje s nekim od prethodno opisanih problema, važno je propitati valjanost uvriježenog termina *ionska veza* koji implicira usmjereno elektrostatsko međudjelovanje između dva iona. Takvo promišljanje može voditi k zaključku da, primjerice, u svakom molu natrijevog klorida imamo šest mola ionskih veza, a u svakom molu cezijeva klorida 8 mola ionskih veza. Očito je ispravnije govoriti o ionskom vezivanju (nego o ionskim vezama), kao ukupnoj sili vezivanja koja djeluje kroz čitav kristal. U svom su udžbeniku, Keeler i Wothers (2008) kvalitetno opisali problem:

Ponekad ćete u literaturi naići na pojam "ionska veza" (koji se odnosi na interakciju između dva iona, op. a.). Takvu je terminologiju najbolje izbjegavati jer u ionskim kristalima svaki ion ostvaruje interakcije s velikim brojem drugih iona, istog i suprotnog naboja. Energija koja povezuje strukturu ne potječe od pojedinačnih interakcija između iona (odnosno ionskih veza), već je rezultat međudjelovanja svih iona u uzorku.

O koncepciji o molekulama

Prva (ravna) strelica u simboličkom prikazu reakcijskog mehanizma (slika 3) označava kemijsku reakciju. Ako učenici i studenti pomisle da druga i treća strelica također impliciraju kemijsku reakciju, a što ne bi bilo neočekivano, tada mogu zaključiti da je produkt te reakcije jedan ionski par. Prikazi reakcijskih mehanizama odnose se samo na jedan ili nekoliko submikroskopskih *dogadaja*, dok se u stvarnosti zbiva mnoštvo jednakih ili sličnih procesa koji rezultiraju nastankom nove tvari. Razlika između jednog submikroskopskog *dogadaja* i nastanka produkta konkretan je primjer različitih razina kemije koje je prvi prepoznao Johnstone (1991): nastajanje tvari moguće je opaziti pa je to makroskopski fenomen, dok je nastajanje jednog atoma, iona ili molekule zamišljeni submikroskopski *dogadaj*. Primjerice, jedan submikroskopski *dogadaj* prikazan na slici 3 može se usporediti s makroskopski uočljivim nastajanjem tvari natrijeva klorida reakcijom između čvrstog natrija i plinovitog klora, prikazanim kemijskom jednadžbom:



Ako ovakva usporedba nije naglašena, simbolički prikaz sa slike 3 može voditi k konceptualizacijama u kojima je produkt opisane reakcije ionski par ili molekula, ili mnogo njih.

Očigledan (iako još neprovjeren) uzrok mnogih konceptualizacija o molekulama ionskih spojeva upotreba je izraza *formulska jedinka*. Primjerice, formulska jedinka najčešće razmatranog ionskog spoja, natrijeva klorida, je NaCl. Rijetkost je u udžbenicima naići na eksplicitno objašnjenu razliku između značenja, primjerice, molekulske formule H₂O (označava apsolutni broj atoma svake vrste u svakoj molekuli) i empirijske formule NaCl (označava relativni broj iona svake vrste u organiziranoj nakupini mnoštva iona). Ako učenik ili student razmišlja o valenciji iona u ionskim tvarima na sličan način na koji razmišlja o valenciji atoma u molekulama, može se očekivati da će formulsku jedinku doživjeti kao izdvojenu strukturnu jedinicu neke tvari. Ova je mogućnost u RH možda i vjerojatnija nego u većini drugih zemalja jer riječ *jedinka* na hrvatskom jeziku označava nezavisni entitet, što je u suprotnosti sa značenjem termina *formulska jedinka* koji se u nastavi kemije, u pravilu, koristi za najmanji omjer suprotno nabijenih iona neke tvari (ili raznovrsnih atoma koji izgrađuju umrežene kovalentne sustave) iskazan simboličkim zapisom.

Nije jasno mogu li se eventualna pogrešna poimanja uzrokovana uporabom termina *formulska jedinka* opravdati koristima koje se ostvaruju korištenjem tog izraza. Stoga koncept *formulska*

jedinka smatram nepotrebnim - kvantitativni stehiometrijski izračuni mogu se temeljiti na množini (iskazanoj u molovima) natrijevih iona ili iona klora, u razmatranim uzorcima. Iako ne preporučujemo uporabu termina *formulska jedinka*, ukoliko ga se koristi, od posebnog je značaja učenicima pomoći u razumijevanju da formulska jedinka ionskog spoja ne implicira postojanje molekula ili parova iona. To može biti izazovan zadatak.

3.2.3.10. Zaključak

Uvjerenja značajnog broja ispitanika sa svih razina obrazovanja u RH koherentna su s pretpostavkama Taberova molekularnog okvira *o povijesti* (ionske veze uspostavljaju se samo između iona sa zajedničkom povijesti prijenosa elektrona), *o valentnosti* (broj veza koje ion može formirati ovisi o elektronskoj konfiguraciji ishodišnog atoma, a određuje ga broj doniranih ili primljenih elektrona u cilju postizanja *okteta*) i *samo o silama* (ionska veza nešto je više od privlačenja, odnosno međudjelovanja iona). Izostanak potrebnog razumijevanja učenika, studenata i nastavnika razlog je posebne zabrinutosti. Činjenica da će dio studenata s pogrešnim poimanjima kovalentnog i ionskog vezivanja sutra poučavati taj sadržaj, problem čini još složenijim. Uzroci nerazumijevanja koncepata kemijskog vezivanja prepoznati su u pojedinim nastavnim i udžbeničkim materijalima. Nužne su specifične intervencije u nastavu i programe kemijskih i metodičkih kolegija o kemijskom vezivanju, na srednjoškolskoj i sveučilišnoj razini.

3.2.3.11. Preporuke za kurikulum, udžbenike i nastavu

Nužno je pozorno razmotriti način na koji se tema *ionsko vezivanje* poučava u školama, vodeći računa o rezultatima ovog istraživanja i spoznajama drugih autora o kojima se ranije raspravljalo. Iako se ove preporuke temelje na dokazima prikupljenima u kontekstu hrvatskog obrazovnog sustava, neke od njih su univerzalno primjenjive. U nastavku će biti iznijeto nekoliko važnih zaključaka o modelu ionskog vezivanja koje treba uzeti u obzir. Neki od njih već su dio standardne nastavne prakse.

- Za razliku od prikaza na slici 3, koji može implicirati nastajanje jednog ionskog para, korisni prikazi ionskih tvari trebaju uključivati veliki broj kationa i aniona pravilno raspoređenih u kristalu, bez pozivanja na hipotetski način kojim se može zamisliti nastajanje iona. Ovaj je problem detaljnije raspravljen ranije, kroz spekulacije o uzrocima identificiranih pogrešnih poimanja, u odjeljku naslovljenom *O pretpostavci o povijesti*. Kada bi se nastava o ionskom vezivanju bazirala na postojanju iona (a ne na hipotetskom nastajanju), izbjegao bi se problem učenika i studenata koji

razmatrajući elektronsku konfiguraciju ishodišnih atoma pogrešno zaključuju o broju veza svakog iona.

- Stehiometrija ionskog spoja korespondira s relativnim brojem kationa i aniona koji su povezani u takvom omjeru da je neto naboj kristala nula. Prema tome, primjerice, u natrijevu kloridu, sastavljenom od Na^+ i Cl^- iona, broj kationa i aniona mora biti jednak. Stoga je formula tog spoja NaCl . Sukladno tome, u magnezijevom je kloridu dvostruko više Cl^- iona nego Mg^{2+} iona pa je formula te tvari MgCl_2 .
- Kemijske (ili empirijske) formule ionskih tvari treba tumačiti drugačije od kemijskih formula elementarnih molekularnih tvari i kovalentnih spojeva. Primjerice, dok nam molekulska formula CH_4 pokazuje apsolutni broj atoma elemenata u svakoj molekuli metana, formula MgCl_2 upućuje na relativni broj (odnosno najmanji omjer) međusobno pravilno raspoređenih Mg^{2+} i Cl^- iona. Ovu važnu razliku teško je uočiti bez eksplicitne upute.
- Iz formule CH_4 može se iščitati broj jednostrukih veza kojima se atomi ugljika i vodika vežu u molekulama metana. Broj tih veza predstavlja valenciju pojedinog atoma. Za razliku od kemijskih formula molekularnih tvari, formule NaCl i MgCl_2 ne govore ništa o broju najbližih susjednih suprotno nabijenih iona s kojima razmatrani ion ostvaruje naj snažnije elektrostatske interakcije. Broj susjednih iona naziva se koordinacijski broj. Ovo se može potvrditi navodeći primjere različitih 1 : 1 soli (sve imaju jednak broj kationa i aniona). U kristalu natrijeva klorida, svaki natrijev ion okružuje šest oktaedarski razmještenih kloridnih iona, kao i što svaki kloridni ion okružuje šest natrijevih iona. Međutim, u cinkovu sulfidu (sfalerit, ZnS) svaki je ion okružen s četiri suprotno nabijena iona koji čine vrhove tetraedra. Svaki ion u cezijevom kloridu, CsCl , okružen je s osam najbližih susjednih iona suprotnog naboja koji čine kocku. Udžbenički uvod u temu o ionskom vezivanju, prikazan na slici 3, ne sadrži navedene temeljne ideje. Ako se eksplicitno ne naglase istaknute značajke, ne bi se trebalo iznenaditi ako učenici i studenti pretpostave da ono što vrijedi za molekularne tvari vrijedi i za ionske. Zašto bi mislili drugačije? Priličan izazov za učenike jest pojmiti (kao i za njihove nastavnike, objasniti) da kristal u kojem je svaki ion okružen sa šest suprotno nabijenih iona grade kationi i anioni u omjeru 1 : 1. Minimalan uvjet razjašnjavanja ovog problema jest uporaba modela kristalne strukture natrijeva klorida.

- Svaki kation jednako je privučen svakim od najbližih susjednih aniona, od kojih su svi, s druge strane, privučeni svakim od najbližih susjednih kationa. Na taj način, ono što kristal drži na okupu, a što nazivamo ionskim vezivanjem, djeluje kooperativno u svim smjerovima kroz kristal.
- U RH, koncept valencije atoma kemijskih elemenata kao *sposobnosti (snage)* povezivanja s drugim atomima u kemijske spojeve, uvodi se u sedmom razredu osnovne škole. Dakle, u prvoj godini učenja kemije. Koncept se prvenstveno razmatra u kontekstu molekularnih spojeva, u kojima se valencija atoma nekog elementa može odrediti prema broju jednostrukih veza koje ostvaruje s drugim atomima. Koncept valencije iona u ionskim tvarima ne uvodi se na toj razini obrazovanja, niti se naglašava kako koncept valencije atoma nije primjenjiv na ione. Zahtjevno bi bilo precizno definirati valenciju iona u kontekstu koji je prigodno opisan kao sposobnost ili snaga vezivanja. Doista, ni u IUPAC-ovoj Zlatnoj knjizi (McNaught i Wilkinson, 1997), među definicijama kemijskih pojmova, nema spomena valenciji iona. Nema smisla uopće uvoditi taj pojam ako će ga se definirati kao naboj iona koji uvjetuje strukturu tvari, odnosno određuje omjer iona u kristalu jer će time jedan jednostavan koncept postati složeniji i nejasniji.
- Nije korisno razmatrati individualne *ionske veze*. Umjesto toga, trebamo razmišljati o ionskom vezivanju kao sveukupnom fenomenu.

3.2.4. Završno razmatranje o razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja

Kao što je slučaj s mnogim istraživanjima iz područja kemijskog i prirodoslovnog obrazovanja, primarni cilj ovog istraživanja bio je omogućiti razvoj MZ-a nastavnika kemije, kako pojedinaca tako i profesije. Prikupljeni podaci o razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja na svim razinama obrazovanja u RH predstavljaju novo znanje. Njihovo nas je razmatranje dovelo do spekulacija o uzrocima pogrešnih poimanja. One nisu u cijelosti izvoran doprinos ovog istraživanja. Rasprava o mogućim uzrocima pogrešnih poimanja rezultirala je preporukama za unaprjeđenje kurikuluma, udžbenika i nastave u području razumijevanja strukture tvari. Nastavnici sada imaju priliku analizirati iznesene spekulacije o uzrocima pogrešnih poimanja, kao i posljedične preporuke. To može rezultirati akcijskim istraživanjima kojima će se propitivati vlastita nastavna praksa ili porastom svijesti o važnosti budućih istraživanja motiviranih ovom i sličnim studijama. Svi navedeni aspekti mogu doprinijeti razvoju kvalitetnijeg znanja o poučavanju i učenju – MZ–a o kovalentnom i MZ-a o ionskom

vezivanju. Naravno, kako najbolje oblikovati i provesti nastavu u svjetlu novostečenog, na određenom kemijskom sadržaju utemeljenog MZ-a, nastavnicima i dalje ostaje izazov.

Prihvativši dio tog izazova, osmišljena je specifična nastavna metoda, *Otvoreni intervju* (OI). Ispitani su njezini istraživački i edukacijski potencijali u području kovalentnog i ionskog vezivanja. Opis pristupa tom dijelu istraživanja i rezultati OI-a, tema su sljedećeg poglavlja, poglavlje 3.3. Otvoreni intervju.

3.3. Otvoreni intervju

3.3.1. Što je Otvoreni intervju?

Otvoreni intervju je metoda za rekonstrukciju znanja koja ima istraživački i nastavni potencijal. Temelji se na metodi razgovora u kojem dvoje studenata – jedan kao intervjuist, a drugi kao *ispitanik*¹¹ – razmatraju zadani problem, i raspravi, koja u pravilu slijedi nakon razgovora, u kojoj sudjeluju ostali studenti nazočni tom događaju. S obzirom na to da se razgovor zbiva pred svim studentima, koji se naknadno u razgovor mogu uključiti, ova metoda nazvana je *Otvoreni intervju* (OI).

Problem i formu u kojoj će se problem iznijeti određuje istraživač ili nastavnik u pripremi OI-a. Primjerice, kod provedbe OI-a o ionskom vezivanju problem je iznesen u formi tvrdnji iz +TTAIB-a. Studenti su tijekom OI-a razgovarali i argumentirano raspravljali o ispravnosti i značenju razmatranih tvrdnji odnosno koncepata na koje se tvrdnje odnose.

Temeljem plana što se OI-om o pojedinom problemu želi postići, izrađuje se istraživački vodič (protokol) za intervju (prilog 12) i studentski vodič (protokol) za intervju (prilog 13). Studentski vodič obvezno sadržava zapis problema kojeg treba analizirati i kratku sugestiju kako pristupiti njegovoj analizi. Međutim, on može sadržavati i druge elemente. U ovom su istraživanju, u vodič za studente uključeni i tematski srodni pojmovi čije je značenje trebalo objasniti te, u većini slučajeva, umanjeni grafički prikazi, koji su uvećani tijekom OI-a projiciranjem na veliko platno, a čija se valjanost trebala prosuditi u kontekstu zadanog problema.

Dva studenta potrebna za prvi dio OI-a odabirana su metodom slučajnog izbora. Prvi izabrani preuzima ulogu intervjuista. Zadatak intervjuista je voditi ispitanika do odgovora glede razmatranog problema koje smatra točnima i cjelovitima. On, dakle, ima ulogu moderatora i prosuditelja. S obzirom na to da intervjuist nije posebno pripreman za vođenje konkretnog intervjua – na raspolaganju ima 3-5 minuta za proučavanje vodiča za intervju – preuzete uloge ga dovode u situacije u kojima mora, kao i ispitanik, iskazati mišljenje o zadanom problemu. Na takav se način stvara okruženje za argumentirano sučeljavanje mišljenja.

¹¹ Osoba koja odgovara na pitanja u intervjuu nije ispitanik (u smislu da se provjerava njeno/njegovo znanje). Ipak, iako je riječ o osobi u čije se osobno iskustvo i promišljanja pokušalo proniknuti, radi lakše čitljivosti rada, označena je imenicom *ispitanik*.

U OI-u mogu sudjelovati samo osobe koje imaju određeno znanje o zadanoj temi. Ako razgovor između intervjuista i ispitanika nije na potrebnoj razini, jednom ili obojici sudionika tog intervjua moguće je pridružiti još jednu osobu.

Nakon što intervjuist i ispitanik detaljno obrade temu ili pak naiđu na enigm, dozvoljava se uključivanje ostalih sudionika, čime razgovor, u pravilu, prerasta u raspravu. Rasprava završava nakon što se iznesu svi argumenti, odnosno kad se potpuno iscrpi tema.

Konačno, ako se OI provodi kao istraživačka metoda, nakon rasprave se odgovarajućim instrumentom od sudionika prikupljaju traženi podatci.

3.3.2. Kako je proveden OI

OI je upotrijebljen kao istraživačka metoda kojom se ispitivao edukacijski potencijal u području ionskog i kovalentnog vezivanja. Edukacijski se potencijal, u ovoj studiji, odnosi na mogućnosti identifikacije pogrešnih poimanja, rekonstrukcije ZPS-a i stjecanja MZ-a. Da bi ga se odredilo, tijekom OI-a su evidentirana pogrešna poimanja, zatim kritični događaji koji su rezultirali novim spoznajama i nove spoznaje, potom razumijevanje razmatranih pojmova i konačno, pokazatelji MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju. Podatci su prikupljeni Dnevnikom rada (prilog 13) kojeg su studenti ispisivali nakon svake etape OI-a, zapisima istraživača i zvučnim zapisom tijekom OI-a. Prosudbe studenata o ispravnosti razmatranih tvrdnji i rješenja zadataka zabilježena u dnevnicima rada upotrijebljeni su za kvantitativnu analizu podataka.

U provedbi OI-a, od studenoga do siječnja 2013./2014., 2014./2015. i 2015./2016. akademske godine, sudjelovale su tri generacije studenata završne godine diplomskog studija Biologija i kemija s Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Splitu. Uzorak je ukupno brojao 47 studenata. Međutim, zbog pojedinačnih izostanaka, broj sudionika je varirao od etape do etape.

OI se provodio u učionici za kemiju tako da su intervjuist i ispitanik bili smještenim u središtu prostorije (slika 4).



Slika 4. Detalj s provedbe OI-a

OI-om su obrađene teme *Ionsko vezivanje* i *Kovalentna veza*. U okviru teme *Kovalentna veza* nije razmatran samo model dijeljenja zajedničkog elektronskog para već se, baš kao što je slučaj i u udžbenicima, pozornost posvetila i referentnim konceptima, poput polarnosti i strukture molekula i tvari. Kao osnovu za OI o ionskom vezivanju, odabrano je sedam tvrdnji iz +TTAIB-a. Šest je zadataka iz +KViS-a odabrano za OI o kovalentnoj vezi.

3.3.3. Istraživačko pitanje i instrumenti

Ovaj dio istraživanja utemeljen je na sljedećem istraživačkom pitanju:

Je li OI učinkovita metoda za a) identifikaciju pogrešnih poimanja, b) rekonstrukciju ZPS-a i c) stjecanje MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju?

Povezanost istraživačkog pitanja s potpitanjima i instrumentima za prikupljanje podataka, pregledno je prikazana u tablici 43.

Tablica 43. Istraživačka pitanja, potpitanja i instrumenti prikupljanja podataka u *Otvorenom intervjuu*

Istraživačko pitanje	Potpitanje	Instrument
a) Je li OI učinkovita metoda za identifikaciju pogrešnih poimanja o kovalentnom i ionskom vezivanju?	Koja su pogrešna poimanja o kovalentnom i ionskom vezivanju identificirana tijekom OI-a?	Transkripti OI-a; zapis istraživača
	Koji <i>kritični događaji</i> značajno doprinose povećanju ZPS-a i MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju?	Dnevnik rada: pitanja b, c i d; zapis istraživača
b) Je li OI učinkovita metoda za rekonstrukciju znanja o kovalentnom i ionskom vezivanju?	Koji se pojmovi mogu smatrati prekursorima studentskog razumijevanja pojedinih koncepata iz područja kovalentnog i ionskog vezivanja?	Dnevnik rada: pitanje e; transkripti OI-a; zapis istraživača
c) Je li OI učinkovita metoda za stjecanje MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju?	Koliko su uspješno studenti, u okviru OI-a, prosudili točnost tvrdnji o ionskom vezivanju i riješili zadatke o kovalentnoj vezi?	Dnevnik rada: stav nakon OI-a
	Što su novo studenti naučili tijekom otvorenog intervjuja?	Dnevnik rada: pitanje a; transkripti OI-a
c) Je li OI učinkovita metoda za stjecanje MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju?	Koje bi detalje, kojih su postali svjesni tijekom OI-a, studenti koristili u poučavanju o kemijskim vezama?	Dnevnik rada: pitanje d; transkripti OI-a;
	Smatraju li studenti OI učinkovitom metodom za poučavanje kemijskog vezivanja?	Dnevnik rada: pitanje d; transkripti OI-a; fokusne grupe (provedene na kraju istraživanja)

3.3.4. Rezultati *Otvorenog intervjuja s raspravom*

Prikaz i interpretacija rezultata OI-a podijeljeni su u dva dijela: prikaz i interpretacija rezultata OI-a o ionskom vezivanju i prikaz i interpretacija rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju. U svakom od tih dijelova, prikazani su kvalitativni i kvantitativni rezultati.

U prikazu i analizi kvalitativnih podataka smjernice su dane sljedećim pitanjima:

- i) Koja su pogrešna poimanja studenti iskazali?
- ii) Što su studenti tijekom OI-a naučili?
- iii) Koji su se kritični događaji mogli prepoznati?

- iv) Koji se pojmovi mogu povezati sa studentskim (ne)razumijevanjem koncepata iz područja ionskog i kovalentnog vezivanja?
- v) Što bi studenti, čega su tijekom OI-a postali svjesni, koristili u poučavanju o kovalentnom i ionskom vezivanju?

Imena studenata upotrijebljena u prikazu i raspravi rezultata OI-a su pseudonimi.

Prije prikaza rezultata, valja objasniti pojam *kritični događaji*. Kritični događaji su podražaji koji, u danom kontekstu, mogu izazvati ili bitno utjecati na razumijevanje odnosno promjenu mišljenja. Kritične se događaje pokušalo prepoznati iz: a) perspektive istraživača (temeljem zapisa i transkripata OI-a) i b) perspektive studenta (temeljem dnevnika rada).

U nastavku su prikazani i raspravljani rezultati OI-a. Svaka je generacija studenata prvo sudjelovala u OI o ionskom vezivanju, a potom u OI-u o kovalentnom vezivanju. Tako je odlučeno jer je početno iskustvo studenata s OI-om važno za usvajanje pravila i razvoj atmosfere povjerenja, a to je lakše postići prosuđujući valjanost tvrdnje (kakve su upotrijebljene u OI-u o ionskom vezivanju) nego valjanost konceptualnog zadatka (kakvi su upotrijebljeni u OI-u o kovalentnom vezivanju). Rezultati su prikazani istim slijedom kojim je provedena ova metoda.

3.3.4.1. Prikaz i interpretacija rezultata OI-a o ionskom vezivanju

3.3.4.1.1. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju

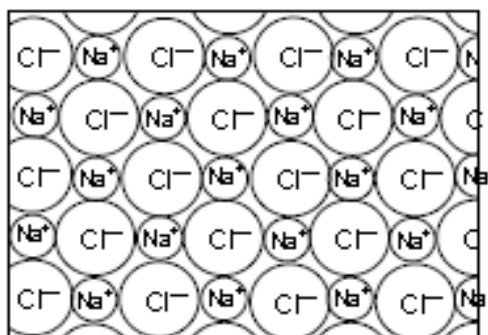
Za raspravu u okviru OI-a o ionskom vezivanju, upotrijebljene su tvrdnje iz +TTAIB-a s kojima su studenti imali najviše poteškoća. Pri tome se vodilo računa da za svaku pretpostavku alternativnog okvira ionskog vezivanja (*Molekularni okvir*, Taber, 2002) bude odabrana barem po jedna odgovarajuća tvrdnja iz +TTAIB-a (tablica 44). Prosudbe 1., 2., 3., 4. i 5. tvrdnje točnima, te 19. i 7. tvrdnje netočnima, smatrane su iskazima pogrešnog razumijevanja.

Tablica 44. Pretpostavke *Molekularnog okvira* ionskog vezivanja i tvrdnje iz +TTAIB-a upotrijebljene u OI-u o ionskom vezivanju.

	Tvrdnje (numerirane prema redosljedu upotrebe u OI – u. U zagradama je broj tvrdnje u +TTAIB-u.)
<i>Molekule ionskih spojeva</i>	1. (6.) Prema shemi, svaka molekula natrijevog korida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klora.
Pretpostavka o valentnosti	2. (4.) Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima. 3. (3.) Atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati. 6. (19.) Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, ukoliko je (su) dovoljno blizu.
Pretpostavka o povijesti	4. (18.) Ionska veza je kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske.
<i>Samo sile</i> pretpostavka	5. (16.) Prema shemi, natrijev ion je privučen jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama. 7. (7.) Ionskom vezom nazivamo privlačenje između pozitivnih i negativnih iona.

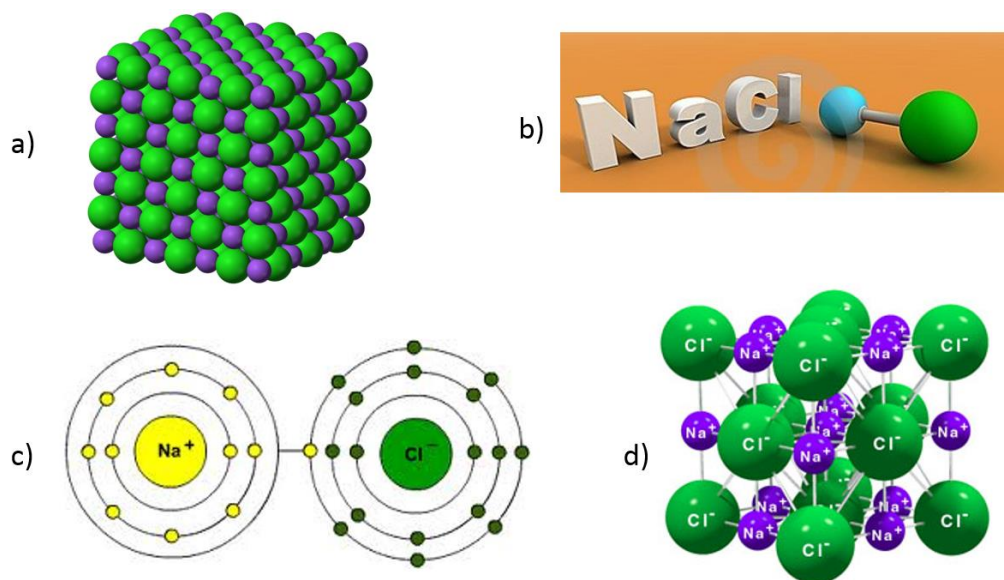
3.3.4.1.1.1. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu tvrdnje 1 o "molekulama natrijevog klorida"

Pregled kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju započinje pregledom i interpretacijom podataka koji su prikupljeni raspravom i osvrtom na prvu tvrdnju. Intervjuist je od drugog sudionika intervjuja zatražio da se postavi u ulogu nastavnika kojeg učenik pita: Je li točna tvrdnja da, prema shemi (slika 5), svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klora?



Slika 5. Shematski prikaz sloja kristala natrijeva klorida

Uz odgovor, od sudionika je zatraženo i obrazloženje koje je trebalo potkrijepiti odabirom odgovarajućeg prikaza sa slike 6.



Slika 6. Prikazi natrijeva klorida čiju su valjanost studenti procjenjivali u kontekstu prve tvrdnje OI-a Također, trebalo je obrazložiti zašto je odabrani prikaz ispravan ili bolji izbor od ostalih te koje su značajke ostalih grafičkih prikaza zbog kojih bi ih mogli ili pak ne bi smjeli upotrijebiti u nastavi.

Konačno, na kraju ovog dijela OI-a, ispitanik je trebao objasniti značenje pojmova *molekula*, *naboj*, *jedinična ćelija*, *kristalna rešetka* i *kristal*.

i) Pogrešna poimanja o ionskom vezivanju

Analizom transkripata OI-a i zapisa istraživača vezano uz prvu tvrdnju, opažena su sljedeća pogrešna poimanja: *Natrijev klorid nije molekula, nego formulska jedinka; Formulska jedinka je spoj metala i nemetala; Jedan atom natrija i jedan atom klora povezani su samo jednom ionskom vezom; Jednake su elektrostatske interakcije između promatranog iona i svih iona*

suprotnog naboja koji ga okružuju, ali samo je jedna ionska veza između njih; Ioni klora smješteni oko natrijevog iona privlače se s njim, ali to ne znači da je taj ion natrija sa svim ionima klora stvorio vezu; Jedna formulska jedinka predstavlja jednu ionsku vezu; Svi ioni natrija i ioni klora međusobno djeluju elektrostatskim interakcijama, ali se pojavljuju u parovima; Ionsku vezu možemo gledati na dva načina: prvo, kao prijenos elektrona i drugo, kao privlačenje iona; Vezu obično doživljavam kao neku predaju elektrona.

Iako studenti tvrde da ne postoje molekule natrijeva klorida, mnogi od njih su, kao najbolji grafički prikaz natrijeva klorida sa slike 6, odabrali prikaz (b) koji izravno upućuje na molekulu natrijeva klorida. Marija je rekla:

Da sada poučavam u školi, donijela bi djeci modele poput onih na prikazu (b) (slika 6) i to 10 takvih modela, pa tražila da sve spoje u jednu strukturu.

Većina se studenata tada složila s Marijom zaključivši da bi poučavanje o ionskim vezama započeli s prikazima (b) i (c), pa tek potom objasnili kristalnu strukturu.

Možda se ovakvo razmišljanje može dovesti u vezu s nerazumijevanjem značenja pojma formulska jedinka. Naime, mnogi studenti, poput Jure, formulsku jedinku i molekulu smatraju različitim oblicima združenih čestica.

Ne možemo govoriti o molekuli NaCl jer je natrijev klorid ionski spoj, a na ovoj shemi (slika 6, op. a.) je prikazana formulska jedinka natrijeva klorida. Natrijev klorid nije molekula, nego formulska jedinka.

Pojedini studenti ideju o jednoj ionskoj vezi između natrijevog kationa i kloridnog aniona temelje na pogrešnom poimanju značenja pojma *formulska jedinka*.

(Gabrijela) Možemo li interakcije između iona natrija i iona klora koji ga okružuju smatrati kao šest ionskih veza?

(Ivana) Ne, ionska veza se odnosi na formulsku jedinku!

(Gabrijela) Ja mislim da je cijela kristalna struktura jedna ionska veza.

(Goran) Ne, to je puno puta po jedna veza.

(Draga) Nije do kraja objašnjena ta jedna veza. Je li tih šest veza zapravo jedna veza?

(Ivana) Svaka formulska jedinka predstavlja jednu ionsku vezu, dakle jedan ion natrija i jedan ion klora povezuje jedna veza. E sad, to što su ovi ostali ioni pod njihovim utjecajem, to je tako.

Ivana je ponajbolja studentica bogatog kemijskog znanja čije mišljenje svi uvažavaju. Ipak, njezin nedorečen zaključak o međudjelovanju susjednih, suprotno nabijenih iona, a koje ona ne smatra ionskom vezom, pokrenuo je daljnju raspravu i ukazao na podijeljena mišljenja. U tom trenutku, većina studenata bila je na tragu Andelinog promišljanja koje je u skladu s alternativnom pretpostavkom o jednoj ionskoj vezi i ostalim silama koje ion ostvaruje sa susjednim ionima suprotnog naboja:

Svaki natrij će ostvariti jednu vezu, i svaki klor će ostvariti jednu vezu, a sve skupa su elektrostatske interakcije.

Rasprava se intenzivirala nakon Martinog komentara:

Hajdemo zaključiti što je to elektrostatsko privlačenje, od toga počet. Ako ono djeluje na sve oko sebe onda nemamo samo jednu ionsku vezu nego se takve veze ostvaruju sa svim ionima oko sebe.

Problem nepoznavanja značenja pojedinih termina, pokazao se uzrokom pogrešnih konceptualizacija. Konkretno, pokušaj usporedbe značenja pojmova *ionska veza* i *elektrostatsko privlačenje*, otkrio je studentska poimanja o ionskoj vezi kao prijenosu elektrona. Tijekom rasprave, Ivan je zaključio:

Svi vidimo istu stvar, ali iz dva kuta – neki kao privlačenje, a drugi kao prijenos elektrona.

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a o ionskom vezivanju vezanog uz prvu tvrdnju

Nove se spoznaje, zabilježene u dnevnicima rada, razlikuju od generacije do generacije studenata uključenih u ovo istraživanje.

Tri su nove spoznaje ili razumijevanja najčešće istaknuti u dnevnicima rada prve generacije studenata: ne postoji molekula natrijeva klorida, naboj je količina elektriciteta te jedinična ćelija je, u pravilu, najmanji dio kristala koji se ponavlja.

Iz pojedinih je zabilješki, poput Martinove *Ne postoji molekula ionskog spoja nego formulska jedinka*, vidljivo da pojedini studenti prve generacije, tijekom OI-a oko valjanosti prve tvrdnje, nisu razvili ispravnu predodžbu o pojmu *formulska jedinka*. Neki su studenti, poput Marije, svjesni svog nerazumijevanja tog pojma:

Spominjali smo formulske jedinice, ali ih nismo objasnili.

Nekoliko je studenata iskazalo dvojbe oko razumijevanja pojma *jedinična ćelija*. Neka su pogrešna poimanja ostala nepromijenjena, ali su pojedini studenti postali svjesni neusklađenosti takvog razmišljanja s novim spoznajama.

(Mate) *Kako se jedan ion natrija može okružiti sa šest iona klora ako natrij može dati samo jedan elektron u ionsku vezu?*

Najbrojniji iskazi studenata druge generacije govore o novom poimanju i porastu sposobnosti prikazivanja strukture jedinične ćelije kristala natrijeva klorida. Nekoliko je zapisa pokazatelj porasta svijesti o važnosti promišljanja o kvaliteti grafičkih prikaza koji se koriste u nastavi.

(Jadranka) *Naučila sam dosta o kriterijima po kojima neki grafički prikaz je ili nije prikladan za učenike.*

Najučestalije spoznaje studenata treće generacije sukladne su sa Antinom: *Ionska veza je elektrostatska interakcija*. Većina studenata nakon OI-a odjeljuje prijenos elektrona od ionske veze. Ipak, dok jedni ističu da *ne mora postojati transfer elektrona da bi nastala ionska veza*, drugi vide nastajanje iona kao uvjet nastanka ionske veze. Gotovo svi studenti kao spoznaju navode da natrijev kation stvara šest ionskih veza sa susjednim ionima klora (odnosno 4 veze, prema slici 6). To je pokazatelj pozitivne promjene u poimanju interakcija među ionima. Međutim, brojanje ionskih veza, za koje znamo da nisu usmjerene u prostoru, ukazuje na novo alternativno poimanje ionskog vezivanja. U ovom je slučaju takvo poimanje inicirano pitanjem o broju veza između susjednih iona. Konačno, neki su studenti spoznali da veze u molekulama opisujemo isključivo modelom kovalentne veze.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Svi podražaji i događaji, koji su utjecali na tijek OI-a izazivajući *Aha* efekt kod studenata, ostavljajući ih bez protuargumenata ili značajno usmjeravajući raspravu u smjeru razumijevanja znanstveno prihvaćenog koncepta, označeni su kao kritični događaji. Najzastupljeniji podražaji tog tipa bila su studentska pitanja koja su zahtijevala konkretne i jednoznačne odgovore. Sljedeća pitanja valja izdvojiti kao kritične incidente:

- (a) Ako se ioni natrija i klora povezuju u parove, što ione (odnosno te parove) natrijeva klorida drži zajedno u kristalnoj rešetci?

(b) Ako su elektrostatske interakcije između promatranog iona i susjednih iona jednake, a samo je jedna ionska veza među njima, o čemu ovisi koja će od tih interakcija biti ionska veza?

(c) Gdje se elementarni natrij i klor nađu u prirodi da bi nastao natrijev klorid?

Pitanje (a) pomoglo je u rekonstruiranju ideje o parovima iona. Pitanjem (b) potaknuta je argumentirana rasprava o valjanosti alternativne pretpostavke kako u ionskim kristalima postoje ionske veze i *neke sile*. Nakon rasprave potaknute pitanjem (c) postalo je razvidno da ionsko vezivanje nije prijenos elektrona i da prijenos elektrona ne mora prethoditi ionskom vezivanju.

Kao kritični događaj koji je, prema reakcijama studenata, pomogao u rekonstruiranju alternativnih uvjerenja o jednoj ionskoj vezi između promatranog i susjednih iona te o ionskoj vezi kao prijenosu elektrona, zabilježeno je objašnjenje otapanja natrijevog klorida u vodi i naknadnog uparivanja, popraćeno grafičkim prikazom.

(Goran) ...*Ovdje je prikazan transfer elektrona (pokazuje na simbolički prikaz prijenosa elektrona s atoma natrija na atom klora, op. a.). Gdje je ionska veza? ...Ovo što je ovaj otpustio i što je klor primio ne čini ionsku vezu. To nije ionska veza!*

Hajdemo sad pogledat ako bacimo kristal NaCl-a u čašu s vodom. Gdje je ta veza (pokazuje na shematski prikaz iona u kristalu natrijeva klorida koji se još nije otopio, u obliku kružnica s plusevima i minusima, te na hidratizirane ione, op. a.)? ... Što se događa s ionima ako uparimo vodu?... Ionska veza je privlačenje naboja suprotnog predznaka i to ne parcijalnih naboja, nego kationa i aniona!

(Bojana) *Hoće li sad taj jedan natrijev kation sa drugim ionima suprotnog naboja stvarati veze ili će to samo biti interakcija?*

(Goran) *Ionska veza nije kao kovalentna. Evo, ionska veza je sve to kako su ovi plusevi povezani s minusima!*

U opisanom slučaju shematski je prikaz otapanja natrijeva klorida uz odgovarajuća pitanja pomogao u rasvjetljavanju koncepta ionskog vezivanja. Ivana, koja je do tada branila ideju o jednoj *ionskoj vezi i drugim interakcijama*, te tvrdila da prijenos elektrona mora prethoditi ionskoj vezi, uvažila je argumente zaključivši:

Ima tu dosta istine!

Temeljem dojma u tom trenutku, ali i daljnjeg tijeka OI-a, može se pretpostaviti da je Ivana ovakvim komentarem ukazala na valjanost izvedenih zaključaka, ali i ostavila prostor, sebi i ostalima, da neka njena prethodna razmišljanja još uvijek ne budu odbačena.

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Od studenata je zatraženo da u dnevnik rada napišu što ih je dovelo do nove spoznaje. U pisanim i usmenim uputama naglašeno je da budu konkretni i navedu riječ, rečenicu, crtež, objašnjenje ispitanika ili voditelja intervjua ili nešto drugo što smatraju ključnim za novu spoznaju.

Jure je opisao situaciju u kojoj su studenti analizirali, na ploči skiciranu (nalik prikazu *d*, sa slike 6), jediničnu ćeliju kristala natrijeva klorida. Pokušavali su potvrditi da je omjer iona natrija i klora 1 : 1. U tom je prikazu središnji ion natrija bio okružen sa šest iona klora, ali nijedan ion klora nije bio okružen sa šest iona natrija. Kritični se trenutak dogodio kada su nacrtali model kristalne strukture.

Mnogi su Goranov crtež i objašnjenje naveli kao *kritični događaj*. Vanesa je, primjerice, napisala: *Do nove spoznaje me dovela čaša s otopinom natrijeva klorida (nema prijenosa elektrona, a isparavanjem vode svejedno dolazi do formiranja kristala NaCl(s)).*

Pokušaji da se na prikazu strukture natrijeva klorida označi formulska jedinka, vodili su studente do spoznaje da formulska jedinka natrijeva klorida nije par čestica.

Većina je studenata u dnevnicima rada ponudila općenite iskaze o kritičnim događajima. Najčešće su navodili slike (slika 6) čija je valjanost analizirana i crteže na ploči, uz objašnjenja kolega. Marija je, nespretno, napisala:

Uspoređivanjem slika (različitih prikaza na slici 6, op. a.) došla sam do spoznaje zašto je u NaCl ionska veza.

Najveći broj studenata sliku modela *kristalne strukture natrijeva klorida* označio je ključnim detaljem u stjecanju novih spoznaja. Nekolicina je navela da ih je do spoznaje doveo *intervju, rasprava, objašnjenje na ploči*.

Tek je nekoliko studenata napisalo da nisu stekli nove spoznaje.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Analizom transkripata OI-a i zapisa istraživača, utvrđeno je nepoznavanje ili pogrešno poimanje značenja pojmova *formulska jedinka, ionska veza, interakcija i elektrostatska*

interakcija. Ti deficiti bili su uzrokom nepotpunih ili pogrešnih konceptualizacija ionskog vezivanja, čega su, u nekim slučajevima, studenti, poput Ivane, postali svjesni.

Mi bi trebali definirati što je veza, a što je interakcija elektrostatska? To je ključ. Mi ne znamo te pojmove i to je razlog (nerazumijevanja ionskog vezivanja, op. a.).

Tijekom ovog dijela OI-a, istraženo je razumijevanje značenja pet zadanih pojmova. Nisu zabilježene poteškoće u studentskom razumijevanju pojmova *molekula i kristal*.

Pojmove *jedinična ćelija i naboj* studenti nisu potpuno objasnili. Naboj opisuju kao *višak pozitivnih ili negativnih čestica unutar nekakvog iona*. Neki ga vezuju s prijenosom elektrona. Nakon zahtjeva za konkretnijim objašnjenjem, pojedini studenti, poput Anice, pribjegavaju analogijama, dok drugi, poput Kolinde, nude neodređene odgovore.

(Anica) ... Naboj bi bio nešto kao kako mi zračimo prema okolini. E sad, jesmo li pozitivni pa ćemo privući nešto negativno ili smo negativni pa ćemo privući nešto pozitivno...

(Kolinda) ... To je nekakva... možda, ... nije sila, ali... ne znam, ne mogu se izraziti.

Osim poteškoća u razumijevanju pojma *naboj*, navedeni citati ukazuju na probleme uporabe pogrešnih analogija i probleme s izražavanjem. Izjave poput *Znam što je, ali ne znam kako bi se izrazila*, kritični su događaji koji bi mogli rezultirati porastom svijesti studenata o poteškoćama u izražavanju (i objašnjavanju).

v) Što bi studenti, čega su tijekom *Otvorenog intervjua* postali svjesni, koristili u poučavanju o ionskom vezivanju?

Gotovo svi studenti naveli su da bi ionsku vezu objašnjavali uz pomoć prikaza kristalne strukture (slika 6; a) te jedinične ćelije natrijeva klorida (slika 6; d), odnosno odgovarajućih modela i crteža. Iz Franinog se navoda može iščitati da se poučavanjem ionskog vezivanja uz pomoć prikaza strukturnih modela natrijeva klorida mogu izbjeći pogrešna razumijevanja:

... Treba prikazivati pomoću kristalnih struktura kako ne bi došlo do zabune. Tako se najvjerodostojnije prikazuje...

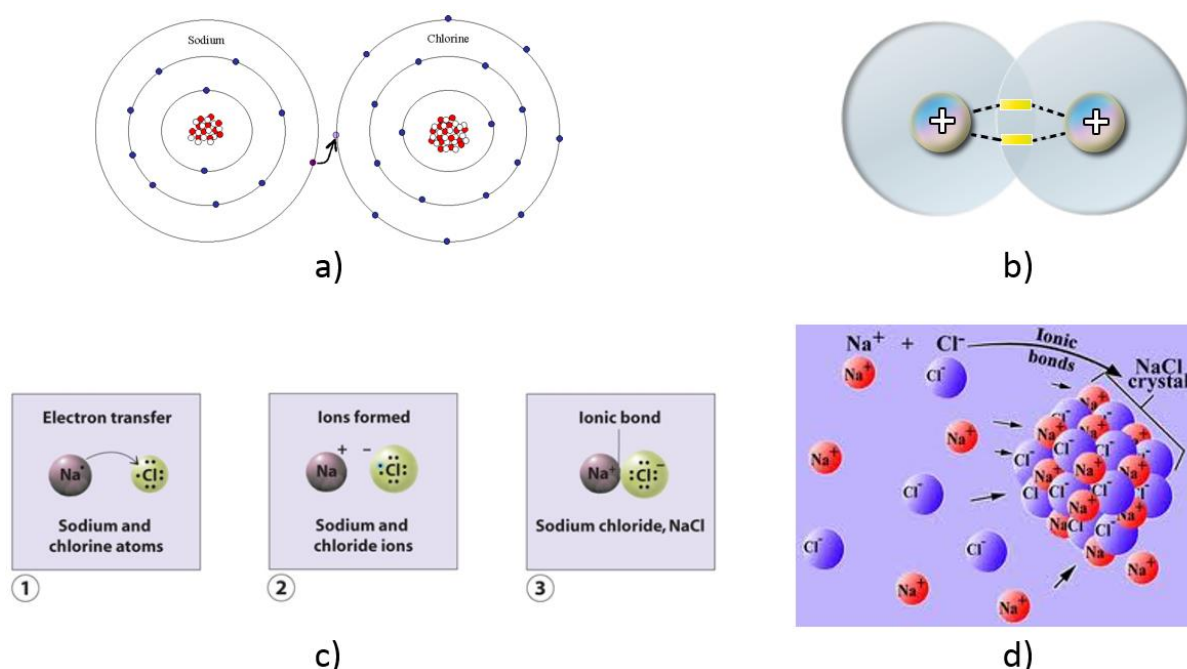
Gabrijela je zaključila da *treba dobro proučiti slike jer stvaraju pogrešne percepcije*. Nekolicina bi u objašnjavanju ionskog vezivanja upotrijebila Goranov primjer s natrijevim kloridom u čaši vode.

Marina bi, primjerice, istakla *razliku između formulske jedinice i molekule – ne bi izdvajala formulsku jedinku kao fizičku česticu – kao što je molekula, jer to dovodi do zablude o vezivanju samo jednog kationa i jednog aniona (neovisno o ostalim ionima).*

3.3.4.1.1.2. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu (2.) tvrdnje "o prijenosu elektrona kao razlogu ionskog vezivanja"

Intervjuist je od drugog sudionika intervjua zatražio da se postavi u ulogu nastavnika kojeg učenik pita: *Je li točna tvrdnja da je izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima?*

Uz odgovor, intervjuist je zatražio i obrazloženje koje je trebalo potkrijepiti odabirom odgovarajućeg prikaza sa slike 7.



Slika 7. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu druge tvrdnje

Također, trebalo je obrazložiti zašto je odabrani prikaz ispravan ili bolji izbor od ostalih te koje su značajke ostalih grafičkih prikaza zbog kojih bi ih mogli ili pak ne bi smjeli upotrijebiti u nastavi.

Konačno, na kraju ovog dijela OI - a, ispitanik je trebao objasniti značenje pojmova *elektron, izmjena elektrona, veza i interakcija.*

Prije pregleda rezultata treba navesti da su studenti uočili da bi tvrdnja koja je korištena za OI trebala glasiti: *Izmjena elektrona između atoma (a ne iona, op. a.) natrija i klora razlog je zbog*

kojeg dolazi do formiranja veze među ionima (a ne atomima, op. a.). Takvu su tvrdnju nastavili razmatrati u nastavku OI-a.

i) Pogrešna poimanja o ionskom vezivanju

Raspravljajući o drugoj tvrdnji, studenti su iskazali sljedeća pogrešna poimanja: *izmjena elektrona je razlog zbog kojeg nastaje ionska veza, veza nastaje zbog težnje da se zadovolji pravilo okteta, natrij ima jedan elektron koji mu smeta, a kloru fali jedan pa... te interakcija je nekakva slabija veza.*

Na početku OI-a, studenti su se (pogrešno) složili da prikaz c) na slici 7 smatraju najboljim modelom kojim se potvrđuje ispravnost zadane tvrdnje. Takav je zaključak pokazatelj uvriježenosti ideje o uzročnoj povezanosti prijenosa elektrona i nastajanja ionske veze te nastajanja parova iona natrijeva klorida (slika 7, prikaz c).

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a o ionskom vezivanju vezanog uz drugu tvrdnju

Dvije nove spoznaje najčešće su istaknute u dnevnicima rada svih triju generacija studenata: *razlog nastajanja ionske veze je privlačenje između suprotno nabijenih iona te razlog nastajanja ionske veze nije izmjena elektrona između atoma.* Pojedini su studenti istakli i drugačije spoznaje. Evo nekoliko primjera:

Elektroni nisu nečiji nego u svakom trenutku mogu prijeći nekom drugom;

Izmjena nije isto što i prijenos elektrona;

Ionska veza je samo elektrostatika uspostavljena između pozitivnih i negativnih iona.

Shema c) nije dobra je nas asocira da je NaCl molekula.

Među okolnostima koje su dovele do novih spoznaja studenti najčešće navode OI i argumentirani razgovor s kolegama.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Kritičnim događajem označena je situacija u kojoj je Mila analizirala sliku 7, prikaz d). Prijenos elektrona je smatrala razlogom zbog kojeg dolazi do nastajanja ionske veze. Ipak, svojim je pitanjima potaknula raspravu koja je studente vodila k zaključku da prijenos elektrona nije uzrok ionskog vezivanja.

(Mila) Na^+ ? (pokazuje na prikaz d, slika 7, op. a.) *Gdje mi je tu elektron? Natrij treba dati jedan elektron da ga klor primi pa da postanu suprotno nabijeni i privuku se poput magneta! Ali, ovdje mi ion natrija nema elektron koji može dati?*

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Najvećem je broju studenata prikaz (d, slika 7) nastajanja kristala natrijeva klorida vezivanjem iona iz otopine pomogao u shvaćanju da prijenos elektrona nije razlog ionskog vezivanja. Matu je do iste spoznaje dovela zamisao da postoji kemijska reakcija između Cu^{2+} i OH^- iona, bez izmjene elektrona, pri čemu nastaje nova tvar – talog bijele boje (bakrov(II) hidroksid je plave boje, op. a.). Neki su naveli primjer sa zagrijavanjem čaše s otopinom soli i zaključili da *do formiranja ionskih veza među ionima natrija i klora ne dolazi zbog izmjene elektrona već zbog interakcije suprotno nabijenih iona*. Marta je isključila prijenos elektrona kao razlog nastajanja ionskog vezivanja temeljem analize prikaza c) (slika 7) prema kojemu je prijenos elektrona temelj ionskog vezivanja:

Do nove spoznaje me doveo crtež pod c) i činjenice da između dva iona ne nastaje jedna veza (kao što je prikazano na slici 7, pod c, op. a.) te da je reakcija koja se navodi u prikazu c) u prirodi nemoguća (tj. gotovo nemoguća). Zaista, malo je vjerojatno da će u prirodi elementarni natrij reagirati sa slobodnim atomima klora, te da pritom mogu nastati ogromne količine natrijeva klorida (kolike se nalaze u prirodi).

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Tijekom ovog dijela OI-a, istraženo je razumijevanje značenja četiri pojma. Nisu zabilježene poteškoće u objašnjenju pojma *elektron*. Studenti nisu precizno definirali pojam *veza*. Većina definicija je na tragu Franine izjave:

Veza je nešto što nastaje između dva atoma i drži ih na okupu.

Riječ *izmjena* u kontekstu izmjene elektrona u oksidacijsko-redukcijskim procesima uvriježena je u jeziku nastave kemije u RH. Izmjenu elektrona može se razmatrati kao promjena (mjesta) gdje je elektron bio (primjerice, u atomu natrija), a gdje se sada nalazi (primjerice, u ionu klora). Međutim, studenti *izmjenu* smatraju dvosmjernim procesom, u kojem subjekt nešto daje, ali i nešto prima. Prijenos elektrona je jednosmjernan proces jer elektroni uvijek prelaze s reducensa (*on ih samo daje*) na oksidans (*on ih samo prima*). Stoga, studenti smatraju, *izmjenu* ne bi trebalo koristiti u tom kontekstu.

Konačno, analizirajući studentska promišljanja o značenju pojma *interakcija*, utvrđeno je i pogrešno poimanje *interakcije* kao slabe veze.

v) Što bi studenti, čega su tijekom *Otvorenog intervjua* postali svjesni, koristili u poučavanju o ionskom vezivanju?

Gotovo su svi studenti naveli kako bi u poučavanju odvojili proces nastajanja iona od ionskog vezivanja. Izdvajaju se tri tipična mišljenja koja to potvrđuju:

(Anđela) *Razdvojila bih transfer elektrona od formiranja ionske veze i naglasila razliku.*

(Marko) *Posebno bih objasnio transfer elektrona, a posebno nastanak ionske veze, tj. "odvojio" bih ta dva procesa.*

(Nada) *Koristila bih slike s ionima ili ako bih krenula od atoma odvojila bi prijenos elektrona od nastajanja ionske veze.*

Također, većina studenata upotrijebila bi prikaz pod d) (slika 7) za objašnjavanje interakcija između iona. Studenti su postali svjesni važnosti grafičkih prikaza i modela pa ističu da bi u nastavi o ionskom vezivanju svakako koristili shematske prikaze i čestične crteže. Mia je zaključkom da ione *nikada neće prikazivati pojedinačno*, ukazala na porast svijesti o važnosti vjerodostojnijeg prikaza mnogočestičnih kemijskih procesa i struktura. Nekoliko je studenata, poput Ane i Marine, postalo svjesno važnosti pravilnog komuniciranja u nastavi:

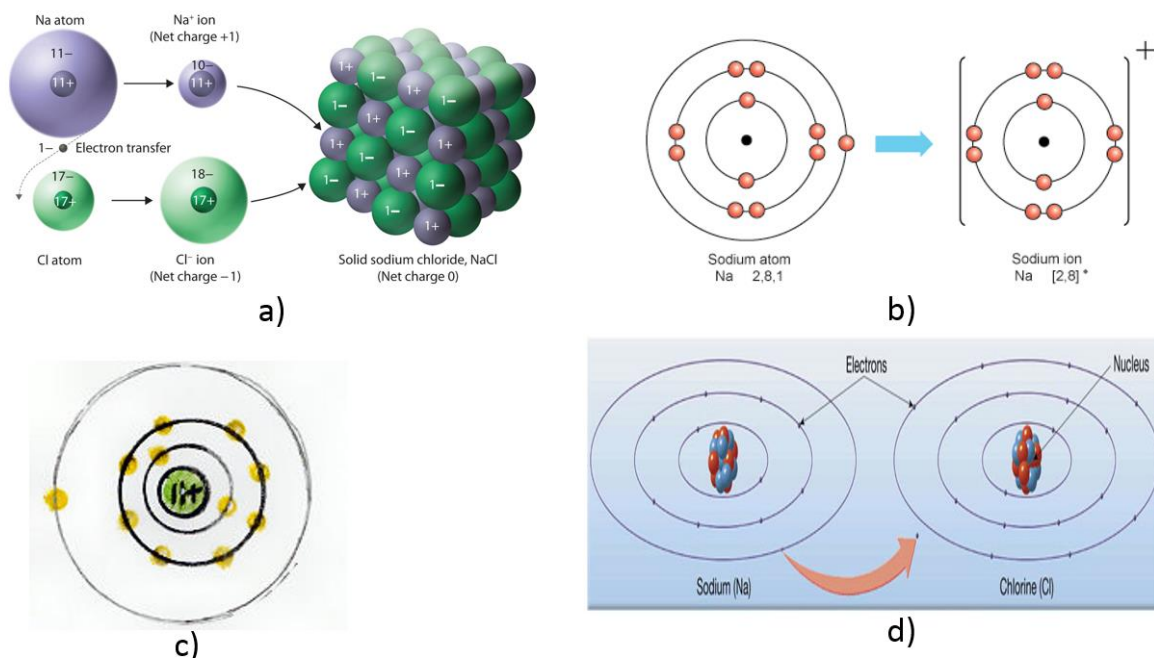
(Ana) *Pripazila bih više na uporabu riječi u komunikaciji s učenicima jer, primjerice, često nesvjesno kažemo natrij, umjesto ion natrija.*

(Marina) *Pokušala bih preciznije i konkretnije oblikovati rečenice koje bih uputila učenicima.*

3.3.4.1.1.3. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu tvrdnje 3 o povezanosti strukture atoma i "broja ionskih veza"

Intervjuist je od ispitanika zatražio da se postavi u ulogu nastavnika kojeg učenik pita: *Je li točna tvrdnja da atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati?*

Uz odgovor, od ispitanika je zatraženo i obrazloženje koje je trebalo potkrijepiti odabirom odgovarajućeg prikaza sa slike 8.



Slika 8. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu treće tvrdnje

Također, trebalo je obrazložiti zašto je odabrani prikaz ispravan ili bolji izbor od ostalih te koje su značajke ostalih grafičkih prikaza zbog kojih bi ih mogli ili pak ne bi smjeli upotrijebiti u nastavi.

Konačno, na kraju ovog dijela OI, ispitanik je trebao objasniti značenje pojmova *atom*, *ljuska*, *formirati*, *natrij*.

i) Pogrešna poimanja o ionskom vezivanju

Razgovarajući i raspravljajući o trećoj tvrdnji, studenti su iskazali sljedeća pogrešna poimanja: *Ion natrija može formirati ionsku vezu s bilo kojim od šest iona koji ga okružuju, ali samo s jednim od njih – ostalo su neke druge interakcije; Ion natrija ima samo jedan pozitivni naboj pa se može spojiti samo s jednim ionom koji ima jedan negativni naboj; Ako (ion natrija, op. a.) ostvaruje šest veza, onda NaCl ne postoji, onda postoji Na₆Cl₆; (u ionskim kristalima, op. a.) nema molekula – to su formulske jedinice.*

Razmišljanja i argumenti koje su studenti iznijeli raspravljajući o značenju prve dvije tvrdnje iz +TTAIB-a, pomogli su u ispravljanju pogrešnih poimanja. Ana je, analizirajući ispravnost treće tvrdnje samouvjereno zaključila:

Ovo je netočno. Već sam prije zaključila da ionska veza nastaje zbog povezivanja suprotno nabijenih iona.

Činjenica da su pojedini studenti, u ovoj, trećoj etapi OI-a o ionskom vezivanju, iskazali zbunjenost i nesigurnost oko odgovora na pitanja koja su postavljena i u ranijim etapama, pokazatelj je pozitivnog pomaka u rekonstruiranju pogrešnih poimanja. Ivan je, primjerice, prosuđujući valjanost treće tvrdnje, izjavio:

Ja bih ranije rekao da je ovo točno, ali nakon onog prethodnog (OI-a temeljenog na prvim dvjema tvrdnjama, op. a.) više ništa ne znam o nastajanju ionske veze. I ono što sam znao nije mi više jasno tako da ne znam bih li se složio ili ne bih.

Nekoliko je studenata, poput Karle, u kontekstu ionskog vezivanja susjednih, suprotno nabijenih iona, pokazalo težnju zadržavanja prethodno utvrđenog (pogrešnog) poimanja unatoč, pokazalo se načelnom, prihvaćanju argumenata koji tom pogrešnom poimanju ne idu u prilog.

(Karla) Ova tvrdnja se može smatrati točnom i netočnom. Maloprije sam shvatila zašto i kada nastaje ionska veza, pa bi prema tome tvrdnja bila netočna. Tome u prilog ide i činjenica kako su u kristalu ioni natrija povezani sa svim ionima klora koji ih okružuju. Ali sad, da kažem da taj ion ostvaruje svih šest ionskih veza, to ne mogu jer to nije točno.

Nekoliko trenutaka kasnije, Karla je dodala:

Kad bi se razmatrao samo prvi dio rečenice, i riječ atom zamijenila riječju ion, dobili bi točnu tvrdnju: Ion natrija može formirati samo jednu ionsku vezu. To je zato što ion natrija ima samo jedan pozitivni naboj pa se može spojiti samo s jednim negativnim ionom.

Mate je bio vrlo ustrajan u obrani pogrešnog poimanja o samo jednoj vezi koju ion natrija ostvaruje u kristalu natrijeva klorida. Uzrok takvog promišljanja bio je u predodžbi formulske jedinice kao dvočestične strukture. Braneci svoje poimanje, Mate je postavio izvrsno pitanje:

Ako imamo parove iona, a znamo da je kristal natrijeva klorida stabilan, čime se ioni natrija i klora međusobno povezuju?

Uistinu, za sve one koji formulsku jedinku natrijeva klorida doživljavaju kao fizičku dvoionsku strukturu, ovakvo pitanje vodi k zaključku o ionskim vezama i *ostalim* interakcijama koje ione, u ionskom kristalu, drže na okupu. Ključno je, dakle, u poučavanju pravilno definirati pojam *formulska jedinka*. Problem nerazumijevanja pojma *formulska jedinka*, o kojem je spekulirano

u poglavlju o razumijevanju ionskog vezivanja u obrazovnom sustavu RH, u OI-u se, dakle, potvrdio uzrokom pogrešnih poimanja.

Pojedini studenti nisu promijenili pogrešne predodžbe o jednoj vezi iona natrija (s ionim klora), tijekom ovog dijela OI-a. Međutim, nitko od studenata razlog nastajanja samo jedne veze iona natrija navedenog u dugom dijelu treće tvrdnje, ... *jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati*, nije smatrao valjanim. To je pokazatelj odmak od ideje prijenosa elektrona kao dijela ionskog vezivanja. Neki su to izrijeком i naveli.

(Marta) Mislim da bi natrij mogao formirati samo jednu vezu kada bi ionska veza nastala prijenosom elektrona i to zato što ima jedan elektron (u vanjskoj ljusci, op. a.). S obzirom da sama ionska veza nastaje zbog interakcija pozitivnih i negativnih iona, jednom kada natrij postane pozitivan ion moći će privući onoliko iona klora koliko god mu prostor dozvoljava.

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a o ionskom vezivanju

Najveći broj studenata stekao je nove spoznaje o rasporedu iona natrija u kristalu natrijeva klorida i jednakim interakcijama koje ion natrija ostvaruje sa svim susjednim ionima klora. Takvo je mišljenje, primjerice, iznijela i Lucija u svom dnevniku rada:

Ion natrija je okružen sa šest iona klora u kristalu natrijeva klorida. Ne tvori jednu vezu s jednim ionom klora. Svi ioni se jednako privlače, niti jedna veza nije jača od druge.

Većina je studenata istakla da ion natrija u kristalu natrijeva klorida ostvaruje šest veza sa susjednim ionima klora. U odnosu na pogrešno poimanje o jednoj vezi između iona natrija i klora, ovakve su spoznaje pokazatelj pozitivnog pomaka u razumijevanju ionskog vezivanja. Međutim, još jednom treba naglasiti da ovakvo razumijevanje treba rekonstruirati da bi se uvažila prostorna neusmjerenost ionskog vezivanja.

Kao novu spoznaju, značajan je broj studenata, poput Milice, naveo značenje *formulske jedinke*:

Formulska jedinka je samo omjer. To nije stvarni spoj.

Studenti su istakli i druge spoznaje poput: *Ionska veza je interakcija; Ionska veza ne nastaje, kako sam mislila do sada, izmjenom elektrona ili Shvatila sam razliku između valencije i broja veza u ionskim spojevima.* Ova posljednja spoznaja je vrlo važna jer se u udžbenicima kemije u RH valencija uglavnom objašnjava na primjerima kovalentnih spojeva, kao broj veza atoma

u molekuli. Primjena takve definicije na ionske spojeve vodi k pogrešnom poimanju ionskog vezivanja.

Među okolnostima koje su dovele do novih spoznaja studenti najčešće navode OI, raspravu te argumentirani razgovor s kolegama i voditeljem.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Nekoliko je studentskih pitanja značajno utjecalo na tijek OI-a. Sljedeća se pitanja izdvajaju kao kritični događaji:

- (a) Kako bi definirali ionsku vezu?
- (b) Koja je razlika između veze i privlačenja?
- (c) Gdje se, na shemi jednog sloja kristala natrijeva klorida (slika 5) nalaze interakcije, a gdje ionske veze?
- (d) Možemo li umjesto ionske veze koristiti pojam ionske interakcije?
- (e) Možemo li reći da u vodenoj otopini veza između natrijeva iona i molekula vode nije jaka elektrostatska interakcija kao što je ionska veza?
- (f) Što je formulska jedinka?

Pitanja (a), (b), (c) i (d) su potakla terminološku raspravu. Pomogla su u rekonstruiranju značenja temeljnih pojmova nužnih za promišljanje o ionskom vezivanju kao elektrostatskom međudjelovanju. Pitanjem (e) pokrenuta je rasprava o prirodi svih veza. Konačno, pitanje (f) je nekim studentima pomoglo u rasvjetljavanju značenja pojma *formulska jedinka*. Time je omogućena rekonstrukcija pogrešnih poimanja o samo jednoj ionskoj vezi iona natrija s jednim od susjednih iona klora.

Izdvajaju se tri mišljenja kao rezultat rasprave vođene nekim od navedenih pitanja:

(Antonija) *Ionska veza nije nešto diskretno¹². To je samo polje djelovanja.*

(Nikolina) *Hajdemo ne koristiti termin ionska veza jer to ispada kao nešto fizički, nešto što stalno postoji. Koristimo vezivanje ili neki slični izraz.*

(Ivan) *Svaka ionska veza je interakcija, ali svaka interakcija nije ionska veza.*

¹² U prirodnim i tehničkim znanostima diskretnan znači odijeljen, odvojen, zaseban, pojedinačan (Miroslav Kiš: Informatički rječnik, Naklada Ljevak, Zagreb, 2000)

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Nekolicina je studenata u dnevnik rada upisala da su tijekom OI-a, vođenog oko prve dvije tvrdnje, shvatili ono što je diskutabilno u trećoj tvrdnji. Marija je, također, navela da u ovom dijelu OI-a *uglavnom nije stekla nove spoznaje*, ali je istakla druge koristi:

Iako uglavnom nemam novu spoznaju, današnji OI mi je pomogao da više uočavam sitnice i bolje analiziram.

Iako su mnogi studenti općenito opisali kritične incidente, navodeći, primjerice, raspravu uzrokom novih spoznaja, pojedinci su bili ponešto konkretniji. Franka je shvatila, *kada su prvi dio rečenice izolirali od drugoga*; Anti je pomogao *crtež* (strukture natrijeva klorida, op. a.) *na ploči i to nakon što su prikazane suprotno nabijene ione međusobno povezali*; Jure je izveo zaključak o nepostojanju parova iona nakon što je shvatio da se svi ioni moraju međusobno povezivati da bi se *držali skupa u kristalu*; Jakov je razumio koncept nakon što je *zamislilo da nema crtice* (između iona natrija i klora, op. a.) – *fizičkog izvora za percepciju veze*.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Tijekom ovog dijela OI-a, istraženo je razumijevanje značenja pojmova *atom*, *ljuska*, *formirati i natrij*. Poteškoće su evidentirane u razumijevanju značenja pojma *ljuska*. Nekoliko studenata ljusku je opisalo kao *zamišljenu putanju po kojoj kruže elektroni*, odnosno *prostor u kojem nalazimo elektrone*.

v) Što bi studenti, čega su tijekom *Otvorenog intervjua* postali svjesni, koristili u poučavanju o ionskom vezivanju?

Studenti bi u nastavi rado koristili prikaz a) sa slike 8. Mia je pojasnila da taj prikaz omogućuje *uvid u nastajanje iona, ali i njihovo povezivanje tj. slaganje kristala*. Brojni su studenti istakli potrebu shematskog prikazivanja strukture ionskih spojeva. Pojedinci su naveli modele, odnosno *fizički prikaz rešetke*, kako se Ljubica izrazila. Zanimljivo je da su neki u dnevniku rada zapisali samo jednu riječ, najčešće *interakcija*, rjeđe *formulska jedinka*. Konačno, Sanja bi svojim učenicima postavila dva ključna pitanja:

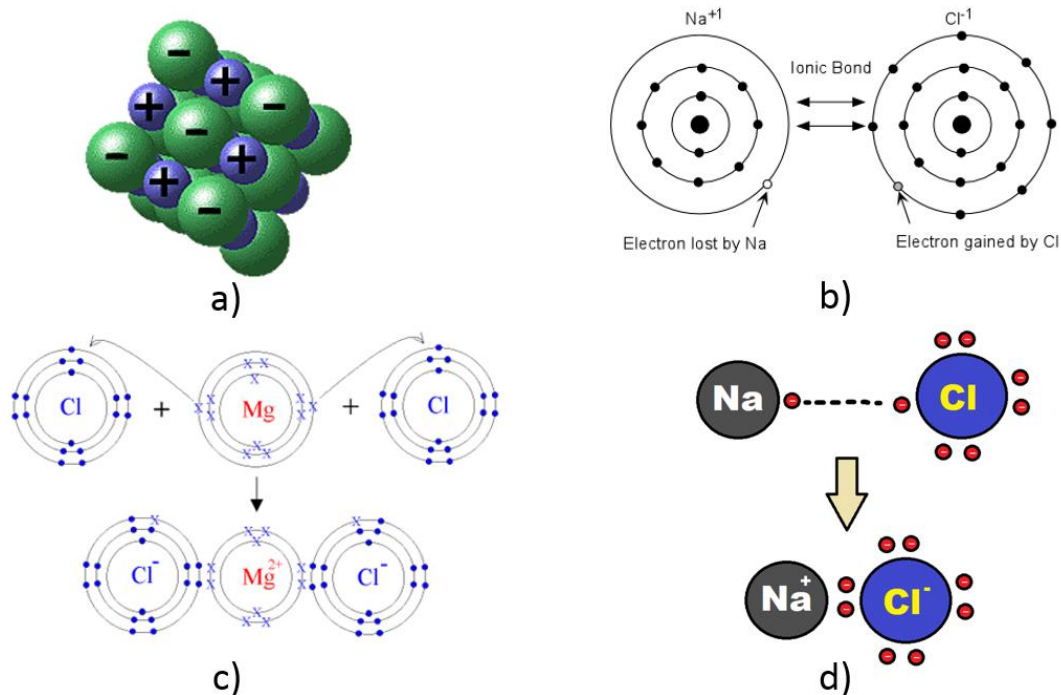
Što je ionska veza? Što znači jedna ionska veza?

Oba su pitanja studenti postavili u raspravi oko valjanosti treće tvrdnje OI-a. Moguće je da su Sanji upravo ta pitanja pomogla u ispravljanju pogrešnih poimanja o ionskom vezivanju.

3.3.4.1.1.4. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu tvrdnje 4 "o pravilu okteta kao pokretačkoj sili ionskog vezivanja"

Intervjuist je od ispitanika zatražio da se postavi u ulogu nastavnika kojeg učenik pita: *Je li ionska veza kada jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske?*

Uz odgovor, od ispitanika je zatraženo i obrazloženje koje je trebalo potkrijepiti odabirom odgovarajućeg prikaza sa slike 9.



Slika 9. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu četvrte tvrdnje

Također, trebalo je obrazložiti zašto je odabrani prikaz ispravan ili bolji izbor od ostalih te koje su značajke ostalih grafičkih prikaza zbog kojih bi ih mogli ili pak ne bi smjeli upotrijebiti u nastavi.

Konačno, ispitanik je trebao objasniti značenje pojmova *ionska veza*, *donirati*, *(popunjena) vanjska ljuska*.

i) Pogrešna poimanja o ionskom vezivanju

Analizom ovog dijela OI-a uočena su dva tipa pogrešnih poimanja, ali niti jedan od njih nije izravno povezan s ionskim vezivanjem. Prvi se odnosi na poimanje pravila okteta kao razloga

zbog kojeg dolazi do otpuštanja i primanja elektrona, a drugi na povezanost prijenosa elektrona s modelom kovalentne veze. Izdvojene su izjave koje to potvrđuju:

(Anka) *Atomi primaju ili daju elektrone s ciljem da imaju osam elektrona u vanjskoj ljusci jer je to najstabilnija konfiguracija;*

(Josip) *Atomi doniraju tj. primaju elektrone da bi popunili vanjsku ljusku.*

(Marko) *Prijenos elektrona nije ključan za ionsku vezu, već je ključan za kovalentnu vezu.*

(Petra) *Sve što nas vodi prijenosu elektrona ključ je za kovalentnu vezu.*

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a o ionskom vezivanju

Nakon provedbe četvrtog dijela OI-a, studenti su u dnevnik rada zabilježili samo dvije spoznaje koje do sada nisu evidentirane: dvoje je studenata navelo značenje koordinacijskog broja, a veći broj njih spoznaju da *valentni elektroni* (prijelaznih elemenata, op. a.) *ne moraju biti elektroni vanjske ljuske.*

Pojedini su studenti tijekom četvrtog dijela OI-a spoznali ili utvrdili da *ionska veza nije isto što i ionizacija* i da *preduvjet ionske veze nije doniranje elektrona*. Neki su pak shvatili da *ionska veza ne podrazumijeva izmjenu elektrona nego interakcije između suprotno nabijenih čestica* te da *je ionska veza elektrostatska interakcija*. Ove su spoznaje u ranijim etapama OI-a već istaknute kao zaključci pojedinih studenata. Činjenica da neki studenti sada, po prvi put, stječu takve spoznaje, ukazuje na složenost procesa ispravljanja pogrešnih poimanja te njegovu uvjetovanost specifičnostima znanja i sposobnostima svakog studenta.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Tijekom provedbe OI-a temeljenog na četvrtoj tvrdnji nisu uočeni kritični događaji

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Kritični događaji koje su studenti zabilježili, ali nisu preciznije opisali su: *rasprava, prethodne tvrdnje, crtež i objašnjenje ispitnika*. Neki su studenti do spoznaje došli analizom prikaza modela jedinične ćelije natrijeva klorida (prikaz a, slika 9), kojeg se smatra metodički valjanim.

(Toma) *Prema slici a) sam došao do spoznaje da ionska veza nastaje privlačenjem suprotno nabijenih iona, ne znajući kako ti ioni nastaju (slika ne prikazuje nastajanje iona, što upućuje da prijenos elektrona nije dio ionskog vezivanja, op. a.)*

(Dubravka) *Najbolji prikaz za razmatranje ionske veze natrijeva korida je kubična rešetka. To me dovelo do nove spoznaje da ionska veza ne nastaje izmjenom elektrona već privlačenjem nabijenih iona.*

Do sada su kao kritični incidenti označeni oni događaji koji su značajno utjecali na razumijevanje sadržaja. Ovdje će kao kritični događaj biti opisan detalj koji je utjecao na izgradnju pogrešnog poimanja o prijenosu elektrona kao ključnom uvjetu nastajanja kovalentne veze. Franjo je kao kritični događaj, zabilježio sljedeće:

Razmatrajući sliku Na:Cl (prikaz d, slika 9) shvatio sam da je ovaj prijenos (prvi dio slike upućuje na prijenos elektrona, op. a.) karakterističan za kovalentnu vezu, a ne ionsku. Stoga ova slika nije pogodna za objašnjavanje ionske veze.

Ovakav je zaključak pokazatelj utjecaja neodgovarajućeg prikaza na razvoj pogrešnog poimanja.

Da bi se promijenila pogrešna poimanja potrebno je posumnjati u ispravnost postojećih. Iako pojedini studenti ni nakon ove faze OI-a nisu ispravili pogrešna poimanja o ionskom vezivanju, svojim su izjavama nesigurnosti pokazali da se suočavaju s vlastitim pogrešnim poimanjima:

(Marija) *Nisam sigurna ni u jedan odgovor, niti shematski prikaz.*

(Vilma) *Ništa nisam shvatila. Previše je novih spoznaja koje tek moram razumjeti.*

(Zdravko) *Nisam sigurna što je ionska veza.*

(Karla) *S obzirom na danas naučeno, čini mi se da je doniranje elektrona pomalo nebitno za ionsku vezu.*

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Nisu uočene poteškoće s razumijevanjem termina (*popunjena*) *vanjska ljuska*. Pojedini studenti još uvijek nisu sigurni što je *ionska veza*. Značenje riječi *donirati* svi razumiju. Ipak, povela se rasprava oko značenja riječi *donirati* u kemijskom i svakodnevnom diskursu. Rezultat te rasprave, Lucija je naznačila kao novu spoznaju:

Shvatila sam razliku između riječi donirati i pokloniti.

v) Što bi studenti, čega su tijekom *Otvorenog intervjua* postali svjesni, koristili u poučavanju o ionskom vezivanju?

Najveći je broj studenata naveo kako bi za objašnjavanje ionskog vezivanja koristio slike kristalnih struktura ionskih spojeva. Marija je uopćila iskustvo analize različitih prikaza:

Smatram da bi dobro razmislila koje prikaze o ionskom vezivanju predložiti učenicima i kako im kritički pristupiti.

Veliki broj studenata bi istaknuo da *prijenos elektrona nije nužan preduvjet stvaranju ionske veze, odnosno razdvojio bi prijenos elektrona od ionskog vezivanja. Neki bi naglasili da su kovalentna i ionska veza samo modeli* kojima se opisuju međudjelovanja pojedinih vrsta čestica. Ana bi, primjerice, uvela terminološku promjenu:

Ne bi koristila izraz "ionske veze" već ionske interakcije.

Analizom studentskih promišljanja o budućem poučavanju ionskog vezivanja utvrđen je utjecaj ovog dijela OI-a na porast njihova MZ-a. To se posebno odnosi na domenu *Znanja o nastavnim strategijama* odnosno *Znanja o, za predmet i temu specifičnim, nastavnim sredstvima* (Magnusson i sur., 1999).

3.3.4.1.1.5. Prikaz kvalitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju u kontekstu tvrdnji kojima se propitivala koherentnost studentskog promišljanja s Taberovim pretpostavkama o valentnosti iona, povijesti iona i "tek silama"

Analizom podataka vezanih uz posljednje tri tvrdnje OI-a o ionskom vezivanju, prikupljen je mali broj novih informacija pa ih valja prikazati zajedno, u jednom odjeljku. Pokazalo se da riječi *veza, privlačenje i interakcija*, predstavljaju prepreku u razumijevanju modela ionskog vezivanja (prvenstveno studentima prve generacije). Stoga će u nastavku biti posebno prikazana i raspravljena studentska promišljanja o značenju tih riječi.

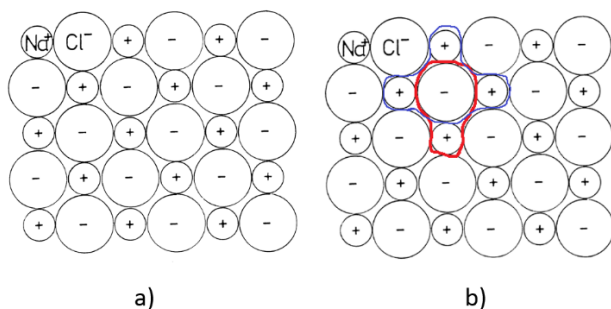
U ovom dijelu bit će razmatrani podatci OI-a dobiveni razgovorom i raspravom o valjanosti sljedećih tvrdnji:

(5) Prema shemi, natrijev ion privučen je jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama.

(6) Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, ako je (su) isti dovoljno blizu.

(7) Ionskom vezom nazivamo privlačenje između pozitivnih i negativnih iona.

Tijekom OI-a o petoj tvrdnji, studenti su uspoređivali prikaze sa slike 10. OI o šestoj i sedmoj tvrdnji nije popraćen grafičkim prikazima.



Slika 10. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti procjenjivali u kontekstu pete tvrdnje

i) Pogrešna poimanja o ionskom vezivanju

Raspravljajući o šestoj tvrdnji OI-a, dvoje je studenata, jedan svojim pitanjem, a drugi svojim odgovorom, pokazalo pogrešno poimanje o ionskom vezivanju: *Ako su suprotno nabijeni ioni privučeni jedni drugima, jesu li oni baš vezani?; Možda su ioni međusobno povezani, ali nisu uspostavili kemijsku vezu.*

Navedenim je pitanjem inicirana zanimljiva rasprava. Njome je utvrđeno da pojedini studenti vezu doživljavaju kao fizičku tvorbu te da pojam *veza* uglavnom povezuju s kovalentnom vezom.

(Anita) *Je li postavljeno pitanje poljuljalo vaše mišljenje o ispravnosti šeste tvrdnje?*

(Dio studenata) *Da.*

(Anita) *Zašto? Doživljavate li vezu kao nekakav končić?*

(Frane) *Kao sponu.*

(Anka) *Da. Iz istog razloga razlikujemo vezu i interakciju, jer... interakcija znači kao da su blizu, a veza da su baš vezani. Obično kad kažemo veza, prvo mislimo na kovalentnu vezu, bar ja tako mislim.*

(Matilda) *Mislim da je u tome stvar. Prvo se uči kovalentna veza u kojoj se jedan elektron veže sa drugim... i mi to uvijek povezujemo sa onom crticom. I tek potom se uči ionska veza... Ionski spojevi nemaju molekule, znači imaju formulske jedinice, i odjednom nije veza što je bila veza – sad su to neke interakcije i privlačenja.*

(Anita) *Mislite li da je veza jedno, a interakcija nešto drugo?*

(Dio studenata) *Da.*

(Anita) *Je li jača veza ili interakcija?*

(Dio studenata) *Veza.*

Osim već ranije zabilježenog pogrešnog poimanja formulskih jedinki kao građevnih jedinica ionskih spojeva, dio studenata pogrešno smatra da kemijska veza nije interakcija, odnosno da je kemijska veza jača od interakcije. Razlozi takvog promišljanja dijelom su navedeni u prethodnom citatu – veza se vizualizira kao crtica koja se koristi kao oznaka za kovalentnu vezu. Kod prikaza ionskih spojeva ne upotrebljavaju se crtice pa se dio studenata dvoumi može li ionsku vezu uistinu smatrati vezom ili tek interakcijom. Vjerojatno postoji i drugi uzrok ovog problema. Naime, analiza srednjoškolskih udžbenika kemije ukazala je na razlikovanje pojmova *kemijska veza* i *interakcija*. Kovalentna, ionska i metalna veza uvijek se razmatraju kao kemijske veze dok se ion-dipolna, dipol-dipolna i slična međudjelovanja određuju kao interakcije ili privlačenja. Izuzetak je pojam *vodikova veza*. Čini se da ovakva stroga podjela između *veza* i *interakcija* učenike i studente može voditi k pogrešnoj ideji da kemijske veze nisu interakcije.

Analizom transkribirane rasprave o valjanosti sedme tvrdnje OI-a, zapaženo je još jedno pogrešno poimanje. Jedna studentica izjavila je kako misli da *negativni ioni jače privlače od pozitivnih*. Ovakvo se mišljenje pokazalo izoliranim, pa mu ne treba pridavati posebnu pažnju.

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a

Nakon provedbe petog, šestog i sedmog dijela OI-a, studenti su u dnevnik rada uglavnom bilježili spoznaje o značenju riječi *veza*, *privlačenje* i *interakcija*. Između mnogo sličnih, izdvajaju se dva zapisa:

(Šime) *Privlačenje je isto što i interakcija – to je oblik ili vrsta interakcija – pa je i veza interakcija.*

(Anka) *Shvatila sam da je privlačenje isto što i interakcija, a veza isto što i privlačenje. Znači da su veza i privlačenje iste stvari.*

U diskursu nastave kemije ionska se veza uvriježeno poistovjećuje s privlačnim silama, odnosno elektrostatskim privlačenjima. Tijekom OI-a provedena je argumentirana rasprava o značenju riječi *privlačenje* u tom, kemijskom kontekstu. Dio studenata zaključio je da *privlačenje* kao sinonim za ionska međudjelovanja nije dobra riječ.

(Mia) *Veza ne mora nužno biti privlačenje. Ioni se privuku do određene udaljenosti, dok se ne uspostavi stanje minimalne energije. Tada se uspostavi ravnoteža između privlačenja i odbijanja. Tako, nije dobro govoriti da je veza samo privlačenje.*

Neki smatraju *interakciju* pogodnijom riječi za ionsko vezivanje.

(Ante) *Interakcija podrazumijeva i privlačenje i odbijanje. Znači, sva djelovanja. Znači da je veza interakcija, a nije privlačenje, ako ćemo tako.*

Uz spoznaje o značenju navedenih riječi, neki su studenti razlučili razliku između valentnosti određenog iona i broja suprotno nabijenih iona s kojima se okružuje u kristalnoj rešetci.

(Iva) *Shvatila sam da je ion natrija (u kristalu natrijeva klorida, op. a.) okružen sa šest iona klora, ali je svejedno jednovalentan. Bitno je da ionska veza nije usmjerena u prostoru.*

Konačno, Lucija je stekla spoznaju važnu za poučavanje kemije:

Coulombov zakon je ključan u poučavanju ionske veze.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Student je pitanjem *Ako su suprotno nabijeni ioni privučeni jedni drugima, jesu li oni baš vezani?* pokrenuo raspravu o značenju riječi *veza*. To je rezultiralo preispitivanjem poimanja o tzv. *nepravoj vezi*, kakvom je nekolicina studenata smatrala ionsku vezu u odnosu na kovalentnu. Stoga je to pitanje označeno kao kritični događaj.

Kritičnim događajem procijenjeno je još jedno studentsko pitanje: *Ako je ionska veza privlačenje između pozitivnih i negativnih iona, što su onda Coulombove sile?* Studenti su zaključili da su Coulombove sile elektrostatska privlačenja te kroz raspravu povezali značenje pojmova *ionska veza, privlačenje i interakcija*.

Raspravljajući o pojmovima *ionska veza, privlačenje i interakcija* još jednom se postavilo pitanje o broju ionskih veza koje ostvaruje ion natrija u kristalu natrijeva klorida. Iako je naglašeno da brojanje ionskih veza nije znanstveno utemeljeno, nekim je studentima, pokazat će sljedeći citati, pomoglo u razumijevanju ionskog vezivanja.

(Zrinka) *Opet smo došli do kristalne rešetke natrija i klora u kojoj ioni tvore šest veza?*

(Mate) *Tako je, ostvaruju šest veza. Trik je u tome što se natrij okružuje sa šest kloridnih iona, a svaki od tih šest kloridnih iona je okružen sa šest natrijevih. Tako da, iako svaki ion natrija i klora može tvoriti šest veza sa suprotno nabijenim ionima, na kraju je ipak omjer 1 : 1.*

(Anka) *Ako je odnos 1 : 1, onda natrij samo s jednim kloridnim ionom tvori ionsku vezu?*

(Jure) *Mislim da je tu srž problema. Nije isto valencija iona odnosno koliko atom da bi postao ion mora otpustiti ili primiti elektrona i broj veza koje ion može ostvariti. U kovalentnoj je vezi broj veza koji se mogu uspostaviti nužno vezan s brojem zajedničkih elektronskih parova. Ioni se ne vežu elektronima. Čim imamo ione, oni privlačenjem mogu ostvariti više veza.*

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Pregledom studentskih zapisa o kritičnim incidentima utvrđeno je da prevladavaju općeniti navodi, poput *Intervju me doveo do spoznaje da je veza interakcija; slika i diskusija; tvrdnja 7; razgovor* i sl. Ipak, nekoliko je studenata konkretnije opisalo okolnosti zbog kojih su počeli preispitivati vlastito znanje. Prvi kritični događaj koji je naveden iz perspektive istraživača, prepoznali su i studenti:

(Marija) *U jednom je trenutku kolega skrenuo pažnju na značenje riječi vezan, što nam je poljuljalo početni stav* (o ispravnosti 6. tvrdnje, op. a.).

(Ivana) *U početku sam sa sigurnošću mogla reći da je tvrdnja točna. Međutim, kolega naglašava upitnost značenja riječi vezan, što dovodi do ponovnih dilema o značenju pojma ionska "veza".*

Riječ *vezan* ne mora imati jednako značenje u svakodnevnom i kemijskom kontekstu. Prethodni su citati pokazatelj kako nesigurnost u značenje svakodnevne riječi u kemijskom kontekstu, negativno utječe na razumijevanje kemijskog koncepta.

Rasprava o značenju riječi *veza* u smislu ionskog vezivanja nastavljena je u smjeru traženja riječi koja bi bolje opisivala interakcije između iona. Tonći je, primjerice, predložio zamjenu riječi *veza* riječju *povezanost*:

Riječ veza implicira fizičku povezanost, a riječ povezanost može označavati i neku drugu, poput povezanosti osjećajima ili povezanost psa i vlasnika...

Detaljnu analizu značenja upotrijebljenih riječi, pa i studentske pokušaje osmišljavanja novih riječi, kojima bi se kvalitetnije odredio neki pojam, može se uzeti kao pokazatelje pozitivnog učinka OI-a. Tome u prilog govore i okolnosti koje su, kao kritične incidente, navele Ana i Marina:

(Ana) *Do spoznaje me dovela rasprava odnosno ukazivanje na riječi koje ranije nisam "primjećivala".*

(Marina) *Razlučivanjem svakog pojma, povezali smo njihovo značenje.*

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Tijekom ovog dijela OI-a o ionskom vezivanju studenti su trebali objasniti značenje riječi: *ion, sile, klor, pozitivno nabijeni ion, koordinacijski broj, ionska veza, privlačenje i nabojni broj*. Zabilježena su, uglavnom, korektna objašnjenja značenja navedenih pojmova. Međutim, kako je već ranije navedeno, uočen je problem nesigurnosti u značenje riječi *veza* u kontekstu ionskog vezivanja i u semantički odnos riječi *veza, privlačenje i interakcije*.

v) Što bi studenti, čega su tijekom OI-a postali svjesni, koristili u poučavanju o ionskom vezivanju?

Studenti bi u poučavanju ionskog vezivanja posebnu pažnju pridali jeziku, prvenstveno pojmovima *privlačenje, interakcija, veza*.

(Ana) Pripazila bih na riječ "vezan". Možda bih koristila riječ privučen.

(Karla) Razjasnila bih pojam "veza" u širem smislu – jer mi obično pomislimo na kovalentnu vezu kad kažemo "veza" – ali i pojmove privlačenje, interakcija i Coulombove sile.

(Šime) Odmah na početku bih stavio naglasak na različite izraze, ali i na značenje pojmova privlačenje, interakcija i veza.

(Zrinka) Koristila bih model kristalne strukture natrijeva klorida. Mislim da je pomoću njega najbolje objasniti pojmove interakcija, veza i privlačenje.

Prethodni su citati pokazatelj osviještenosti studenata o važnosti precizne uporabe jezika u nastavi kemije. Pojmove *veza, privlačenje, interakcija i Coulombove sile*, studenti su prepoznali ključnima za poučavanje ionskog vezivanja.

3.3.4.1.2. Prikaz i interpretacija kvantitativnih rezultata OI-a o ionskom vezivanju

Nakon provedbe svake etape OI-a o ionskom vezivanju studenti su u dnevnicima rada bilježili smatraju li razmatranu tvrdnju točnom ili netočnom. Na taj su način prikupljeni kvantitativni podatci o utjecaju OI-a na razumijevanje ionskog vezivanja. Treba napomenuti da se točnom vrednovala ispravna procjena studenata, a ne ispravnost tvrdnje. Primjerice, prva tvrdnja *Prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klora*, nije točna. Prosudba studenta o netočnosti prve tvrdnje označena je kao točna.

McNemarovim testom za zavisne dihotočne varijable uspoređeni su rezultati procjene ispravnosti sedam tvrdnji upotrijebljenih u OI-u o ionskom vezivanju (tablica 45) i procjenu

istih tvrdnji ostvarenih prije OI-a (tablice 35 – 38). Na taj način dobiveni su podatci o statističkoj značajnosti razlika u rezultatima po svakoj tvrdnji.

Tablica 45. Rezultati studentskih procjena ispravnosti sedam tvrdnji upotrijebljenih u OI-u o ionskom vezivanju

OI	+TTAIB	Tvrdnja	točno		netočno	
			N	%	N	%
1.	(6.)	Prema shemi, svaka molekula natrijevog korida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klora.	31	96,9	1	3,1
2.	(4.)	Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.	35	97,2	1	2,8
3.	(3.)	Atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati.	38	90,50	4	9,5
4.	(18.)	Ionska veza je kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske.	30	88,2	4	11,8
5.	(16.)	Prema shemi, natrijev ion je privučen jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama.	14	100,0	0	0,0
6.	(19.)	Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, ukoliko je (su) dovoljno blizu.	24	77,4	7	22,6
7.	(7.)	Ionskom vezom nazivamo privlačenje između pozitivnih i negativnih iona.	25	96,2	1	3,8

Rezultati prosudbe svih tvrdnji upotrijebljenih u OI-u (tablica 45) viši su od procjene valjanosti istih tvrdnji u ranijem testiranju (tablice 35 – 38). Zanimljivo je da su svi ili gotovo svi studenti točno procijenili ispravnost prve (6.), treće (3.) i pete (16.) odnosno druge (4.) i sedme (7.) tvrdnje. Takav je rezultat pokazatelj pozitivnog učinka OI-a na porast ZPS-a o ionskom vezivanju. Najviše se pogrešnih prosudbi odnosi na šestu (19.) tvrdnju (22,6 %) – sedam je studenata smatralo da negativni ion ne može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, iako je dovoljno blizu. Četvero od 34 studenata i nakon OI-a misli da je ionska veza kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske, iako se takvo pogrešno poimanje u više navrata argumentirano razjasnilo. Takvi su rezultati,

međutim, u skladu s nekoliko općenitih komentara koji su evidentirani u dnevnicima rada OI-a, među osvrtima na posljednje tvrdnje:

(Frane) *Nemam novih spoznaja, samo zbunjenost.*

(Anka) *Zbunjena sam, sad mislim jedno, pa onda sljedeći trenutak drugo.*

Usporedba rezultata prije i nakon OI-a McNemarovim testom pokazuje da su rezultati prosudbe ispravnosti prve (6.) ($p = 0,021$), druge (4.) ($p < 0,001$), treće (3.) ($p < 0,001$), četvrte (18.) ($p < 0,001$) i sedme (7.) ($p = 0,125$) tvrdnje nakon OI-a statistički značajno bolji od rezultata prvog testiranja. Iako su i rezultati procjene šeste (19.) i posebno pete (16.) tvrdnje bolji nakon provedenog OI-a, razlika u odnosu na ranije testiranje nije statistički značajna. OI se, dakle, u slučajevima pet razmatranih tvrdnji potvrdio kao učinkovita nastavna metoda.

3.3.4.1.3. Pregled rezultata OI-a o ionskom vezivanju s raspravom i preporuke za nastavu

OI-om o ionskom vezivanju utvrđena su različita pogrešna poimanja: *formulska je jedinka čestica ionskog spoja; ion natrija ostvaruje jednu ionsku vezu, a ostalo su interakcije; ioni natrija i klor se pojavljuju u parovima; ionska veza se može gledati kao prijenos elektrona; ionska veza nastaje zbog prijenosa elektrona; veza nastaje zbog težnje da se zadovolji pravilo okteta; interakcija je slaba veza; prijenos elektrona je ključan za kovalentnu vezu; veza ima materijalni karakter.* Ovakav nalaz potvrđuje koherentnost promišljanja pojedinih sudionika ovog istraživanja s pretpostavkama Taberova Molekularnog okvira o ionskom vezivanju.

Evidentirane su nove spoznaje studenata. Najzastupljenije, koje se izravno odnose na koncept ionskog vezivanja, su: *ne postoje molekule natrijeva klorida; ionska veza je elektrostatska interakcija; ionska veza nastaje zbog privlačenja suprotno nabijenih iona; prijenos elektrona nije preduvjet nastajanja ionske veze; ioni u kristalu ostvaruju jednake interakcije sa svim susjednim, suprotno nabijenim ionima; formulska jedinka nije čestica ionskog spoja.* Navedene spoznaje potvrđuju promjenu ranije navedenih pogrešnih poimanja o ionskom vezivanju. Stoga ih se može smatrati pokazateljima pozitivnog učinka OI-a u ispravljanju pogrešnih poimanja i izgradnji znanja o ionskom vezivanju.

Kritični su događaji imali ključnu ulogu u stjecanju novih spoznaja. Najčešće su to bila konkretna pitanja studenata i odgovarajući grafički prikazi. Temeljem pozitivnih efekata kritičnih događaja, preporučuje se postavljanje sljedećih pitanja u nastavi o ionskom vezivanju:

- (a) Što je formulska jedinka?
- (b) Koja je razlika između veze i privlačenja?

- (c) Kako bi definirali ionsku vezu?
- (d) Što znači *jedna ionska veza*?
- (e) Gdje se elementarni natrij i klor *susretnu* u prirodi da bi nastao natrijev klorid?
- (f) Ako se ioni natrija i klora povezuju u parove, što parove natrijeva klorida drži zajedno u kristalnoj strukturi?
- (g) Ako su elektrostatske interakcije između promatranog iona i susjednih iona jednake, a samo je jedna ionska veza među njima, o čemu ovisi koja će od tih interakcija biti ionska veza?

Pojedini su kritični događaji nastali kao posljedica studentske analize grafičkih prikaza. Posebno se učinkovitim pokazao čestični crtež otapanja i kristalizacije natrijeva klorida. Takav prikaz olakšava razlučivanje prijenosa elektrona od ionskog vezivanja te omogućuje bolje razumijevanje ionskih interakcija.

U nekim je slučajevima pogrešna percepcija značenja određenog termina uzrokovala nerazumijevanje koncepta ionskog vezivanja. Kao posebno značajan i raširen problem treba istaknuti doživljavanje formulske jedinice kao strukture ionskog spoja. Takva konceptualizacija vjerojatno može biti uzrok ili potpora predodžbama o parovima iona natrija i klora, a posljedično i ostalim pogrešnim poimanjima ionskog vezivanja.

S obzirom na to da se značenje pojma *formulska jedinica* usvaja u osnovnoj školi, nužno je propitati i eventualno rekonstruirati učenička poimanja o *formulskoj jedinici* prije početka poučavanja o ionskom vezivanju u srednjoj školi. Zbog toga je set preporučenih pitanja započeo upravo s pitanjem o formulskoj jedinici.

Pokazalo se da pojedini studenti nisu izgradili pravilne predodžbe o pojmovima kao što su *jedinična ćelija* ili *naboj*. Nekima su poteškoće predstavljali i svakodnevni termini, poput *privlačenja*, kada ih je trebalo upotrijebiti u kemijskom kontekstu. Ipak, pojmove *formulska jedinica*, *veza* odnosno *ionska veza* i *interakcija* odnosno *elektrostatska interakcija* treba izdvojiti kao posebno značajne za razumijevanje koncepta ionskog vezivanja. Pokazatelji važnosti pravilnog poimanja njihovog značenja su sljedeći:

- (a) Pojedini studenti izrekli su ili napisali da ne znaju ili nisu sigurni u njihovo značenje te zbog toga ne mogu zauzeti stav prema ispravnosti pojedinih tvrdnji OI-a;
- (b) Rasprave su se prekidale zbog nedostatka argumenata o valjanom značenju tih pojmova, posebice pojma *interakcija*.

- (c) U svim su generacijama studenata evidentirani problemi razumijevanja njihova značenja;
- (d) Najveći broj novih spoznaja o značenju pojedinih termina, odnosi se upravo na navedene.
- (e) Među pitanjima koja su pojedinim studentima pred kraj ili nakon OI-a ostala nerazjašnjena, najzastupljenija su ona o značenju pojmova *veza* i *interakcija*. Primjerice, Josip je u dnevnik rada, u rubrici o novim spoznajama, stečenima nakon razgovora i rasprave, o 6. tvrdnji, napisao: *Ne znam više ništa što sam prije mislio da znam. Sve se na kraju svodi na pitanje što je veza. Kada bi znali to definirati – puno toga bi se razjasnilo.*

Temeljem prethodnoga može se zaključiti da su pojmovi *formulska jedinka*, *veza* odnosno *ionska veza* i *interakcija* odnosno *elektrostatska interakcija*, prekursori razumijevanja elektrostatskog koncepta ionskog vezivanja. U ovu grupu prekursora može se svrstati i pojmove *privlačenje* i *Coulombove sile* jer su ih brojni studenti, uz *vezu* i *interakciju*, naveli ključnima za uspješno poučavanje ionskog vezivanja.

Činjenica da pojedini studenti nakon OI-a smatraju da je u poučavanju o ionskom vezivanju važno razjasniti ili naglasiti značenje određenih pojmova, pokazatelj je njihove svijesti o važnosti tih pojmova za razumijevanje koncepta. Traganje za preciznijim izrazima, o čemu je ranije izviješteno i što je citatima potkrijepljeno, kao i predlaganje novih termina, upućuje na osviještenost studenata o važnosti precizne i pozorne uporabe jezika u nastavi o ionskom vezivanju.

Opisane su osviještenosti pokazatelji porasta MZ-a budućih nastavnika kemije o ionskom vezivanju pod utjecajem OI-a. S obzirom na to da je MZ *amalgam* ZPS-a i pedagoškog znanja (PZ-a) (Shulman, 1987), novostečenim spoznajama budućih nastavnika kemije o ionskim interakcijama i strukturama, ostvarene su pretpostavke za rast njihova MZ-a o ionskom vezivanju. Konkretni prijedlozi nastavnih sredstava i pristupa, popraćeni odgovarajućim objašnjenjima, neposredan su pokazatelj porasta MZ-a budućih nastavnika kemije o ionskom vezivanju. Prema konceptualizaciji MZ-a (Magnusson i sur., 1999), može ih se svrstati u domenu *Znanje o nastavnim strategijama*, odnosno poddomenu *Znanje o, za predmet i temu specifičnim, nastavnim sredstvima*.

McNemarovim je testom utvrđen statistički značajan porast točnih prosudbi prve (6.) ($p = 0,021$), druge (4.) ($p < 0,001$), treće (3.) ($p < 0,001$), četvrte (18.) ($p < 0,001$) i sedme (7.) (p

= 0,125) tvrdnje nakon OI-a o ionskom vezivanju, u odnosu na rezultate prvog testiranja. Zaključak o OI-u o ionskom vezivanju kao učinkovitoj nastavnoj metodi u slučajevima pet navedenih tvrdnji, dakle, ne može biti slučajan.

Svi elementi koji su komentirani u ovom odjeljku ukazuju na pozitivan učinak OI-a u osposobljavanju budućih nastavnika kemije za poučavanje ionskog vezivanja, odnosno na izgradnju njihova MZ-a. Treba dodati da su pojedinci tijekom OI-a i u dnevnicima rada pokazali znanje o vlastitom znanju i o načinima kako se ono može unaprijediti. Stoga se učinku OI-a može pripisati i porast studentskoga metakognitivnog znanja.

Analizirajući efekte OI-a ne smije se zanemariti činjenica da su studenti istraživanju pristupili s izgrađenim predodžbama o ionskom vezivanju. S obzirom na to da su studentske konceptualizacije otporne na promjene (Driver, 1989; Duit & Treagust, 1998; Osborne & Freyeburg, 1985), već mali napredak u ispravljanju pogrešnih poimanja može se smatrati pokazateljem pozitivnog učinka upotrijebljene metode.

Prikupljeni kvalitativni i kvantitativni podatci ukazuju da pojedini studenti nisu ispravili pogrešna poimanja, ali su, sudeći prema zapisima poput Klarinog: *Zbunjena sam – sada mislim jedno, pa onda sljedeći trenutak drugo*; posumnjali u svoje znanje i time potvrdili stanje prve ili druge od tri faze konceptualne promjene (Pines and West, 1986): osviještenost, kognitivna neravnoteža i reformulacija. Stoga i ovakve izjave treba uzeti kao pokazatelje pozitivnog učinka OI-a. U kontekstu utvrđenih pogrešnih poimanja, a s obzirom na zabilješke o novim spoznajama i činjenicu da je tek nekoliko studenata u prvom dijelu OI-a navelo kako ih nisu stekli, OI o ionskom vezivanju pokazao se učinkovitom metodom za izazivanje konceptualnih promjena.

3.3.4.1.4. Zaključak

Znanje budućih nastavnika kemije tijekom završne godine studija treba biti usklađeno sa znanstveno prihvaćenim konceptima o ionskom vezivanju. Međutim, u populaciji koja je sudjelovala u ovom istraživanju, OI-om su utvrđena brojna pogrešna poimanja. Njihovim je otkrićem potvrđen dijagnostički potencijal OI-a.

Rezultati o kojima je izviješteno u prethodnim odjeljcima pokazuju da su studenti tijekom OI-a stekli nove spoznaje o kemijskom sadržaju i nove spoznaje o poučavanju koncepta ionskog vezivanja. Najveći broj spoznaja o kemijskom sadržaju rezultat je ispravljanja pogrešnih poimanja. Temeljem toga može se zaključiti da je OI o ionskom vezivanju učinkovita metoda za rekonstrukciju znanja.

Nove spoznaje studenata o poučavanju modela ionskog vezivanja, iskazane konkretnim primjerima, prijedlozima, analizama i sl., pokazatelj su porasta studentskog MZ-a o ionskom vezivanju. Takav nalaz upućuje na zaključak da je OI učinkovita metoda za izgradnju MZ-a.

3.3.4.2. Prikaz i interpretacija rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju

U ovom poglavlju bit će prikazani kvalitativni i kvantitativni rezultati o dijagnostičkom, kurativnom i konstruktivnom djelovanju OI-a na ZPS i MZ studenata o kovalentnom vezivanju.

3.3.4.2.1. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju

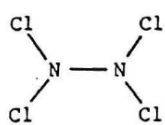
Sadržaj o kovalentnom vezivanju podijeljen je u šest cjelina prema konceptima koji se izravno ili neizravno odnose na model kovalentne veze. Koncepti su: *pravilo okteta*, *oblik molekule*, *kristalna struktura*, *međumolekulske sile*, *polarnost veze* i *polarnost molekule*. Svaka je cjelina u OI-u zastupljena zadatkom s kojim su studenti, tijekom rješavanja +KViS-a (prilog 10), imali najviše poteškoća. S obzirom na dvodijelnu strukturu svakog zadatka, voditelj intervjua je od ispitanika tražio odgovor na prvi dio zadatka, a potom objašnjenje (ne)povezanosti ponuđenih objašnjenja iz drugog dijela zadatka s tim odgovorom. Vrednovana je usklađenost studentskih promišljanja sa značajkama kovalentne veze i drugim referentnim modelima. Primjerice, prema VSEPR-modelu nevezni elektronski parovi vanjskih atoma ne utječu na oblik molekule. Takvo promišljanje smatrano je ispravnim, jer je usklađeno s postojećim modelom.

Koristeći jednak obrazac prikaza rezultata kao u kvalitativnom dijelu OI-a o ionskom vezivanju, u nastavku će biti izneseni i komentirani rezultati u kontekstu svakog od šest koncepata važnih za razumijevanje kovalentnog vezivanja.

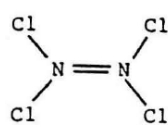
3.3.4.2.1.1. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o pravilu okteta i obliku molekule

Pregled kvalitativnih rezultata OI-a o razumijevanju modela kovalentne veze započinje pregledom i interpretacijom podataka koji su prikupljeni 15. zadatkom iz +KViS-a. Njime je propitivano razumijevanje oblika molekule i pravila okteta.

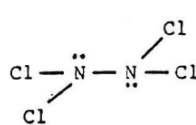
(15.) Koji od sljedećih prikaza najbolje predstavlja strukturu N_2Cl_4 ?



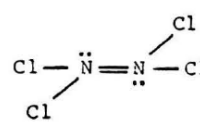
(1)



(2)



(3)



(4)

Objašnjenje

(A) Visoki koeficijent elektronegativnosti dušika uzrok je činjenici da se atom dušika uvijek veže barem jednom dvostrukom ili trostrukom vezom.

(B) *Struktura je posljedica odbojnih sila koje djeluju između 5 elektronskih parova dušikova atoma (uključujući zajedničke i nepodijeljene).*

(C) *Struktura je posljedica odbojnih sila koje djeluju između 4 elektronska para dušikova atoma (uključujući zajedničke i nepodijeljene).*

(D) *Struktura je rezultat odbijanja među vezama u molekuli.*

Tijekom ovog dijela OI-a trebalo je objasniti značenje pojmova *koeficijent*, *dvostruka veza*, *pravilo okteta*, *dijeljenje elektrona iz zajedničkog elektronskog para*.

i) Pogrešna poimanja o pravilu okteta i obliku molekule

Analizom transkripata OI-a i zapisa istraživača opažena su sljedeća pogrešna poimanja: *Po dva atoma kisika i atom ugljika čine dvostruku vezu da bi zadovoljili pravilo okteta i Struktura molekule posljedica je odbijanja veza u molekuli.* Prema prvoj pogrešnoj predodžbi, udovoljavanje pravilu okteta uzrok je nastajanja veza u molekuli ugljikova dioksida. Druga predodžba pokazatelj je zanemarivanja utjecaja (eventualnih) nepodijeljenih elektronskih parova središnjeg atoma na oblik molekule.

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a

Najčešće studentske spoznaje stečene ovim dijelom OI-a su: *Kovalentna veza je elektrostatske prirode; Atom dušika nema d-orbitale pa ne može, poput atoma fosfora i sumpora, odstupiti od pravila okteta; Struktura diduškova tetraklorida je posljedica odbijanja četiriju elektronskih parova, uključujući zajedničke i nepodijeljene; Nepodijeljeni elektronski parovi jače odbijaju zajedničke elektronske parove nego što se zajednički odbijaju međusobno; Atom ugljika u molekuli ugljikova dioksida je sp-hibridiziran.*

Sve navedeno se odnosi na kemijski sadržaj kojim su studenti trebali ranije ovladati. Međutim, zabilježeni su i pokazatelji drugačijih spoznaja. Izdvojena je izjava koja upućuje na novo poimanje značenja riječi *dijeliti*:

(Marina) *Dijeljenje elektronskog para nije kao dijeljenje u svakodnevnom životu kada svatko dobije jednak dio nečega. Dijeljenje elektrona je više kao "polaganje prava".*

Također, pojedini su studenti postali svjesni da koncepti kemijskih veza nisu egzaktna stvarnost već modeli kojima se, u većoj ili manjoj mjeri uspješno, pokušavaju objasniti struktura i svojstva tvari.

(Marta) *Elektroni se mogu svugdje kretati, a današnje prikazivanje veze (kao zajednički elektronski par, op. a.) služi samo kao model radi lakšeg razumijevanja.*

(Ante) *Gle čuda, nemamo ni teoriju koja objašnjava sve aspekte veze!*

(Ivana) *Kao što ne postoji ionska veza, tako ne postoji ni kovalentna. Kovalentna veza je samo model kojim se opisuje elektrostatsko privlačenje koje objašnjavamo preklapanjem atomskih orbitala...*

Spoznaje da su koncepti kemijskih veza modeli te porast svijesti o značenju pojedinih pojmova, smatramo elementima MZ-a o kemijskom vezivanju.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Situacija u kojoj je na praktičan način objašnjeno značenje riječi *dijeliti*, proglašena je kritičnim događajem. Studenti su, prije toga, dijeljenje uglavnom doživljavali kao diobu odnosno podjelu nečega, na dva ili više dijelova. Stavljanjem predmeta u ruku, te polaganjem dlana drugog studenta na taj predmet, dijeljenje je pokazano kao *zajedničko polaganje prava na nešto*. Naravno, u kontekstu modela kovalentne veze *zajedničko polaganje prava na elektronski par* upotrijebljeno je kao metafora.

Opisana demonstracija dobila je novi značaj nakon što je jedan student snažnije privukao dijeljeni predmet prema sebi, simulirajući polarnu kovalentnu vezu. U sljedećem je trenutku, kako bi slikovito prikazao ionsku vezu, potpuno odvojio predmet od ruke drugog studenta, zadržavajući predmet u svojoj. Iako s ovakvom analogijom treba biti oprezan jer može upućivati kako svi ioni nastaju iz molekula oduzimanjem elektrona elektropozitivnijem atomu, studenti su je doživjeli dobrim pokazateljem kako su ionska i kovalentna veza *dva kraja istog konca*, odnosno interakcije iste, elektrostatske prirode.

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Studenti nisu konkretno opisali kritične događaje. Prema zapisima iz dnevnika rada, do novih su spoznaja stigli uslijed *razgovora, rasprave i vrednovanja strukturnih prikaza različitih molekula s ploče*. Tek je jedna studentica bila konkretnija. Do spoznaje je dovelo razmatranje trećeg strukturnog prikaza diduškova tetraklorida iz 1. (15.) zadatka i analiza obrazloženja, danog pod c), da je struktura posljedica odbojnih sila koje djeluju između četiri elektronska para duškova atoma (uključujući zajedničke i nepodijeljene). Time je dala do znanja da se

dvoslojni zadatak upotrijebljen u ovom dijelu OI-a može upotrijebiti i u nastavi kao podloga za raspravu i stjecanje spoznaja o kovalentnom vezivanju.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Studenti su iskazali dvije vrste poteškoća tijekom objašnjavanja pojmova *koeficijent*, *dvostruka veza*, *pravilo okteta*, *dijeljenje elektrona iz zajedničkog elektronskog para*: to su problem izražavanja i problem definiranja. Oba problema mogu se pojasniti primjerima studentskog objašnjavanja pojma *koeficijent*:

(Frane) *Koeficijent je neka brojčana vrijednost koja se nalazi ispred.*

(Antonio) *Znači, imamo koeficijent na pobjedu, ti nama 10, ja vama 20.*

(Mare) *Ako koeficijent ima smjer to je jednadžba pravca.*

(Šime) *Ne znam definiciju, ali znam što znači.*

Samo se prvom definicijom opisuje značenje pojma *koeficijent*. Međutim, tom definicijom *koeficijent* nije jednoznačno određen – što upućuje na problem definiranja, niti je završena započeta misao – što je označeno kao problemom izražavanja. Antonio je pokušao analogijom objasniti značenje *pojma koeficijent*, ali nije ponudio atribute značenja – problem definiranja, niti je smisleno formulirao misao – problem izražavanja. Slični odnosi vrijede i za Marininu definiciju. Konačno, Šime je iskazao problem izražavanja. S obzirom na to da su sudionici ovog istraživanja budući nastavnici, evidentirane poteškoće mogu utjecati na kvalitetu njihovog rada. Stoga u obrazovanju budućih nastavnika, ovakvim problemima treba pridati posebnu pozornost.

Nastajanje zajedničkog elektronskog para studenti su opisivali različitim glagolima i izrazima:

(Ana) *Svaki atom daje jedan elektron da bi nastala kovalentna veza.*

(Branka) *Atom daruje elektron za nastajanje kovalentne veze.*

(Toma) *Atomi dijele zajednički elektronski par.*

Osim antropomorfizama, posebno snažno pokazanog uporabom riječi *darovati*, nastavak rasprave je otkrio da se riječi *dijeliti*, u kontekstu modela kovalentne veze, pridaje sociološko, a ne metaforičko značenje. Isti je problem, u populaciji engleskih učenika, već prepoznat i opisan u znanstvenoj literaturi (Taber, 2002).

v) Što bi studenti, čega su tijekom *Otvorenog intervjua* postali svjesni, koristili u poučavanju kovalentnog vezivanja?

Studenti su, odgovarajući na ovo pitanje, uglavnom ponudili konkretne i precizne odgovore. Izdvojeno je nekoliko tipičnih izjava:

(Karmen) *Odmah ću na početku reći da kovalentna veza nije ništa drugo nego elektrostatska interakcija i da ne dolazi do klasičnog dijeljenja (kao što mi npr. dijelimo čokoladu).*

(Mare) *Detaljno bih objasnila pojam zajedničkog elektronskog para. Elektroni se ne posjeduju – veza je rezultat elektrostatskih privlačenja.*

(Julija) *Slobodne elektronske parove bih označavala i na perifernim atomima, a ne samo na središnjim.*

Nekolicina je studenata praktičnu demonstraciju razlike kovalentne, polarne i ionske veze, ranije opisanu kao kritični događaj, doživjela uspješnim modelom kojeg bi i oni primijenili u nastavi.

(Marko) *Lakše je shvatiti kemijske veze ako ih pokažemo npr. pokretom ruke...*

(Stipe) *Uspoređivao bih ionsku i kovalentnu vezu – veze je lakše objasniti uzimajući osobe za modele koji će veze prikazati npr. pokretima ruke.*

Studenti su, sudeći prema odgovorima na naslovno pitanje, svjesni važnosti detalja, ali i naglašavanja bitnog u poučavanju modela kovalentne veze. Inzistiranje na crtanju nevezanih elektronskih parova na vanjskim atomima, pridavanje pažnje riječi *dijeliti* u kemijskom kontekstu, isticanje elektrostatske prirode veza i uporaba adekvatnih analogija, pokazatelj su porasta MZ-a studenata o kovalentnom vezivanju.

3.3.4.2.1.2. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o strukturi tvari

Četvrti zadatak iz +KViS-a poslužio je kao temelj za OI o razumijevanju strukture tvari:

(4.) *Silicijev karbid ima visoko talište i vrelište. Ovi podatci sugeriraju da su veze u silicijevom karbidu:*

(1) *slabe*

(2) *jake*

Razlog

(A) *Silicijev karbid je kristalna tvar sastavljena od kovalentno povezanih molekula.*

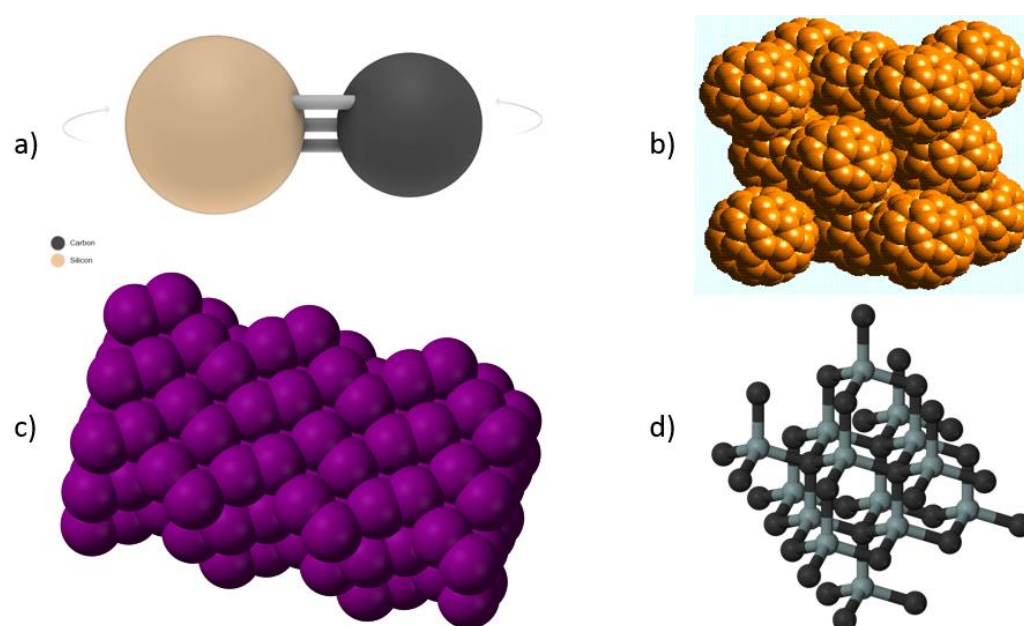
(B) Velika količina energije je potrebna da bi se nadvladale međumolekulske sile u kristalnoj rešetci silicijeva karbida.

(C) Silicijev karbid je molekulski kristal.

(D) Silicijev karbid je kristalna tvar sastavljena od niz(ov)a kovalentno vezanih atoma. Možemo ga smatrati jednom velikom (makro)molekulom.

Tijekom ovog dijela OI-a trebalo je objasniti značenje sljedećih pojmova: *molekulski kristal*, *makromolekula*, *kovalentni kristal*, *energija*, *međumolekulske sile*, *karbidi* i *energija veze*.

Također, studenti su trebali utvrditi koji prikaz s prezentacije (slika 11) predstavlja kristal silicijeva karbida te objasniti razlike među prikazanim strukturama.



Slika 11. Prikazi koje su studenti analizirali u kontekstu drugog zadatka OI-a o kovalentnom vezivanju

i) Pogrešna poimanja o strukturi molekularnih tvari i njihovom prikazivanju

Analizom transkripata OI-a i zapisa istraživača vezano uz drugi zadatak, opažena su sljedeća pogrešna poimanja: *Kristalnu rešetku imaju samo ionski spojevi*; *Molekulski kristal čine pravilno raspoređeni atomi u nekoj molekuli*; *Makromolekula je sastavljena od manjih molekula – ne može biti sastavljena samo od atoma*; *Fuleren nije makromolekula jer je sastavljen samo od atoma* (studenti jednu molekulu fulerena poistovjećuju s fulerenom kao tvari, op. a.); *Silicijev karbid ne može bit kovalentni kristal jer u njemu imamo različite atome, za razliku od dijamanta za kojeg znamo da je kovalentni kristal*; *Veza u silicijevom karbidu nije prava kovalentna jer je silicij polumetal, a ne nemetal*; *Formulskom se jedinkom prikazuju samo ionski spojevi*.

Navedena pogrešna poimanja ukazuju na probleme s terminologijom – studenti nisu sigurni u značenje pojmova *molekulski kristal* i *kovalentni kristal*. Ostala pogrešna poimanja upućuju na problem uskog razmatranja pojedinih termina samo u jednom kemijskom kontekstu. Tako se kristalne rešetke i formulske jedinice razmatraju samo u kontekstu ionskih spojeva, kovalentni kristali u kontekstu istoatomnih struktura poput dijamanta, kovalentne veze u kontekstu povezivanja atoma nemetala i makromolekule, u kontekstu, spekuliramo, složenih bioloških spojeva poput proteina.

Koliko takva pogrešna uvjerenja mogu utjecati na razmišljanje, vidljivo je iz Marijinog zaključka i obrazloženja o povezanosti strukture i svojstava silicijeva karbida:

Silicijev karbid je kovalentni spoj, ali ima veliki udio ionske veze. Možda 40 %, otprilike. Da je i ionski spoj ukazuje nam to što ga prikazujemo formulskom jedinkom. Drugi razlog je taj što tvori kristal. I konačno, ima visoko talište i vrelište. Još i silicij nije nemetal, nego polumetal (dakle, skoro je metal, op. a.) pa to ukazuje da će nastati ionska veza (kao između metala i nemetala, op. a.).

Iako nije u fokusu istraživačkog pitanja, ovdje treba opisati i jednu zanimljivost. OI je omogućio uvid u razmišljanja studenata jer se njime saznaje o različitim kognitivnim putevima kojima su studenti dolazili do zaključaka. Izdvojen je sljedeći primjer.

Mate je podatak o visokom talištu i vrelištu silicijeva karbida ispravno povezo s jakim privlačnim silama u silicijevom karbidu. Međutim, pogriješio je dovodeći ta svojstva u vezu s međumolekulskim interakcijama u kristalnoj strukturi silicijeva karbida (razlog B). Nakon što je Mate točno definirao međumolekulske sile, voditelj intervjua ga je upitao: *U čemu je onda problem?* Mate je odgovorio:

Rečenice pod (D) odgovaraju prikazu pod d) (slika 11, op. a.), ali ništa se ne govori o talištu i vrelištu, odnosno energiji! Razlog pod (B) sam odabrao jer uzima u obzir energiju.

Mate je, dakle, točnu izjavu smatrao točnom, ali njome nisu izravno otkriveni uzroci fizikalnih svojstava kalcijeva karbida pa ju je odbacio. Matin bi odgovor dobiven testiranjem uz pomoć istog zadatka bio protumačen kao problem s nerazumijevanjem međumolekulskih sila i strukture silicijeva karbida. OI je omogućio detaljan uvid u Matino razmišljanje i bitno drugačiji zaključak.

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a

Studentske spoznaje stečene ovim dijelom OI-a su: *Veze u silicijevom karbidu su jake; Sve veze u kristalu silicijeva karbida su jednake – riječ je o kovalentnom kristalu; Atomi kristali imaju visoko talište; karbidi su spojevi ugljika s metalima i polumetalima u kojima ugljik ima negativni oksidacijski broj; Silicijev karbid ima tetraedarsku strukturu i ona utječe na visoko talište i vrelište; "Shvatila sam razliku između kovalentnih i molekulskih kristala"; Atomi kristali mogu biti građeni od različitih atoma; Molekulski su kristali građeni od molekula povezanih međumolekulskim vezama; Atomi kristali imaju visoko talište i vrelište, a molekulski nisko; Kovalentni kristal silicijeva karbida možemo smatrati makromolekulom; "Shvatila sam razliku između formulske jedinice i empirijske formule"; Formulska jedinica nije pojam koji primjenjujemo samo za prikazivanje ionskih spojeva.*

Navedene spoznaje pokazatelj su pozitivnog učinka OI-a na porast ZPS-a pojedinih studenata, prije svega, o vrstama kristala, povezanošću svojstava tvari sa strukturom, percepcijom makromolekula i značenjem formulske jedinice.

Uz spoznaje o kemijskom sadržaju, pojedini su studenti opisali spoznaje koje se može smatrati pokazateljima porasta metakognitivnog znanja. Ivanina izjava ne treba poseban komentar:

Shvatila sam da naše prijašnje znanje ne smije utjecati na nove spoznaje i razmišljanje te da ne smijemo sve svrstavati u "jednu ladicu".

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Zabilježena su dva kritična događaja. Prvim je označeno pitanje kojim je pokrenuta rasprava o formulskim jedinkama kovalentnih spojeva:

(Ana) Možemo li reći, temeljem strukture silicijeva karbida (slika 11, prikaz d, op. a.) da je formula silicijeva karbida SiC?

Nikolina je niječno odgovorila na postavljeno pitanje i dodala:

Ako je formula silicijeva karbida SiC, onda je to formulska jedinica, a to ne može biti jer je silicijev karbid kovalentni spoj.

Svi su studenti bili uvjereni da se formulske jedinice odnose samo na ionske spojeve. Međutim, mijenjali su mišljenje tijekom rasprave. Ključnim se pokazala usporedba značenja pojmova *formulska jedinica* i *empirijska formula* spoja. Iako se studentima činilo da su to istoznačnice,

Antino traženje da usporede strukturu glukoze i silicijeva karbida usmjerilo je raspravu k valjanom zaključku. Stoga se takva usporedba može smatrati kritičnim događajem. Studenti su zaključili da glukozu ne prikazujemo formulskom jedinkom jer ne postoji ponavljajući element strukture tvari kao što je slučaj u kovalentnim kristalima. Stoga empirijska formula glukoze, CH_2O , nije formulska jedinka, dok je empirijska formula silicijeva karbida, SiC , ujedno i formulska jedinka. Radi jasnoće, na općoj se razini komunikacije svaka pojedinačna kemijska formula spoja ili elementarne smatra formulskom jedinkom, međutim, u konkretnim kontekstima nastave kemije, kako je prethodno navedeno, termin *formulska jedinka* ima specifično značenje.

b) Kritični događaji iz perspektive studenata

Kao kritične događaje studenti su naveli: (i) razgovor, raspravu s kolegama, objašnjenja značenja pojmova; (ii) nove spoznaje o strukturi silicijeva karbida, svijest o povezanosti svojstava i strukture tvari, raznolikosti vrsta kristala, kovalentnoj vezi između atoma koji nisu nemetali te usporedbu formulske jedinice i empirijske formule i (iii) prikaze na projekciji, posebice prikaz (d) i objašnjenje strukture dijamanta i silicijeva karbida uz pomoć crteža na ploči.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Tijekom ovog dijela OI-a studenti su objašnjavali značenje pojmova *molekulski kristal*, *makromolekula*, *kovalentni kristal*, *energija*, *karbidi* i *energija veze*. Niti jedan od pojmova nije cjelovito objašnjen tijekom razgovora intervjuista i ispitanika u OI-u. Rasprava je pokazala da dio ostalih studenata također ima poteškoća s objašnjavanjem značenja tih pojmova. Podatci o novim spoznajama stečenim tijekom provedbe ovog dijela OI-a potvrđuju porast znanja o značenju pojmova *molekulski kristal*, *makromolekula*, *kovalentni kristal* i *karbidi*. Ipak, nekoliko je studenata zapisalo u dnevnikе rada da im, uz *energiju* i *energiju veze*, pojmovi *makromolekula* i *karbidi*, još uvijek nisu potpuno jasni.

v) Što bi studenti, čega su tijekom OI-a o strukturi tvari postali svjesni, koristili u poučavanju o kovalentnom vezivanju?

Studenti bi u poučavanju koristili nove spoznaje o kemijskom sadržaju do kojih su tijekom OI-a došli. Posebnu bi pažnju pridali detaljima na crtežima i drugim prikazima te modelima kristalnih struktura. Također, upotrijebili bi silicijev karbid kao primjer kristala prilikom poučavanja nastavne teme o kristalima. Izdvojeno je nekoliko citata koji potkrjepljuju navedeno.

(Jure) *Odmah bih pokazao djeci da atomski kristal može biti sastavljen od različitih atoma.*

(Karla) *Koristila bih prikaze kristala. Pri odabiru bih pazila na boju i veličinu atoma.*

(Franko) *Koristio bih modele i uspoređivao atomske i molekulske kristale.*

3.3.4.2.1.3. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o obliku molekule

Peti je zadatak iz +KViS-a poslužio kao temelj za OI o čimbenicima koji utječu na oblik molekule.

(5.) *Molekula SCl₂ najvjerojatnije ima:*

(1) *savijen (svinut ili "V") oblik*

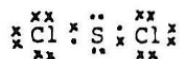
(2) *ravan (linearan) oblik*

Razlog

(A) *Odbijanja između zajedničkih i nepodijeljenih elektronskih parova rezultiraju oblikom molekule.*

(B) *Odbijanja između nepodijeljenih elektronskih parova određuju oblik molekule.*

(C) *Dvije veze između atoma sumpora i klora se maksimalno odbijaju zauzimajući linearan položaj pa molekulu SCl₂ možemo prikazati sljedećom strukturom:*



(D) *Visoka elektronegativnost klora u odnosu na sumpor je najznačajniji čimbenik koji utječe na oblik molekule.*

Tijekom ovog dijela OI-a trebalo je objasniti značenje pojmova *oblik molekule* i *elektronegativnost*.

i) Pogrešna poimanja o obliku molekule

Analizom transkripata OI-a i zapisa istraživača vezano uz treći zadatak, opažena su sljedeća pogrešna poimanja: *Molekula neke tvari može imati različite oblike – mi uvijek prikazujemo najstabilniji; Na oblik molekule značajno utječu nepodijeljeni elektronski parovi perifernih atoma; Oblik molekule proizlazi iz hibridizacije.*

Nekoliko studenata, pokazalo se tijekom OI-a, hibridizaciju doživljava prirodnim procesom koji uvjetuje oblik molekule. Drugi pak smatraju, ne pridajući pažnju elektronskoj konfiguraciji, da molekule građene od različitih atoma ne mogu imati jednak oblik.

(Tonka) *Usporedimo oblik SCl₂ molekule s oblikom molekule vode! Kako je moguće da obje molekule imaju "V" oblik, a tolika je razlika između atoma, elektronegativnosti i svega?*

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a

Studenti su tijekom ovog dijela OI-a kao nove spoznaje najčešće navodili sljedeće: *Odbijanja između zajedničkih i nepodijeljenih elektronskih parova određuju oblik molekule; Naj snažnije se odbijaju nepodijeljeni elektronski parovi, a potom nepodijeljeni i podijeljeni; Nepodijeljeni elektronski parovi na perifernim atomima ne utječu na oblik molekule; Molekula SCl₂ ima savijeni oblik; "Shvatila sam kako pravilno Lewisovim simbolima prikazati strukturu molekule"; Elektronegativnost je mjera kojom atom privlači zajednički elektronski par.*

Sve se nove spoznaje odnose na znanje o kemijskom sadržaju. Usporedba novih spoznaja evidentiranih nakon OI-a s pogrešnim poimanjima utvrđenim tijekom OI-a pokazuje napredak pojedinaca u njihovom ispravljanju.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Nisu zabilježeni kritični događaji.

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Najveći broj studenata kritičnim je događajem označio postupno prikazivanje strukture molekule sumporova diklorida Lewisovom simbolikom na ploči. Pri tom je utvrđen algoritam crtanja Lewisovih struktura i primijenjen VSEPR-model. Stipe je naglasio da mu je u razumijevanju strukture molekule sumporova diklorida pomogla usporedba sa strukturama molekula ugljikovog dioksida i vode. Brojni su, i ovoga puta, uzroke novih spoznaja prepoznali u razgovoru i raspravi s kolegama.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Nisu zabilježene poteškoće s razumijevanjem pojma *oblik molekule*. S druge strane, nekoliko je studenata pogrešno pojmlilo *elektronegativnost* miješajući značenje tog pojma sa značenjem pojma *elektronski afinitet*.

Studenti su raspravili značenje pojma *prošireni oktet*, koji se redovito koristi u nastavi kemije i kemijskim udžbenicima. Taj pojam označava *pravilo* prema kojemu atomi s *d* orbitalama

možu koristiti više od osam elektrona za stvaranje kovalentnih veza. Zaključili su da je termin *prošireni oktet* kontradiktoran jer broj (veznih elektrona) veći od osam nije oktet niti se oktet može proširiti.

v) Što bi studenti, čega su tijekom OI-a postali svjesni, koristili u poučavanju o kovalentnom vezivanju?

Prema zapisima iz dnevnika rada, studenti bi u poučavanju primijenili nove kemijske spoznaje. Nekolicina bi upotrijebila konkretne crteže molekulskih struktura i modele. Iz grupe konstruktivnih zapisa, vrijedilo je izdvojiti Markov:

Koristit ću se formulom ABXEX i tablicom tako da učenici shvate zašto je oblik nekih molekula svinut, drugih tetraedarski itd. Naglasit ću 3D oblik – u 2D se čini da su odbijanja manja – te ću koristiti modele.

Iako se u većini srednjih škola ne obrađuje prostorni raspored molekula čiji središnji atomi imaju slobodne elektronske parove, osim karakterističnih primjera, poput molekule amonijaka, Markova izjava, kao i navedena razmišljanja drugih studenata svjedoče o MZ-u stečenom tijekom OI-a.

3.3.4.2.1.4. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o međumolekulskim silama

Sedmi zadatak iz +KViS-a poslužio je za OI o međumolekulskim silama.

(7). Voda (H_2O) i sumporovodik (H_2S) imaju sličnu kemijsku formulu i jednak (savijen, "V") oblik molekula. Pri sobnoj temperaturi, voda je tekućina, a sumporovodik plin. Ta razlika u agregacijskim stanjima posljedica je relativno jakih međumolekulskih sila između:

(1) H_2O molekula

(2) H_2S molekula

Razlog

(A) Razlika u jakosti međumolekulskih sila je posljedica razlike u jakosti O-H i S-H kovalentnih veza.

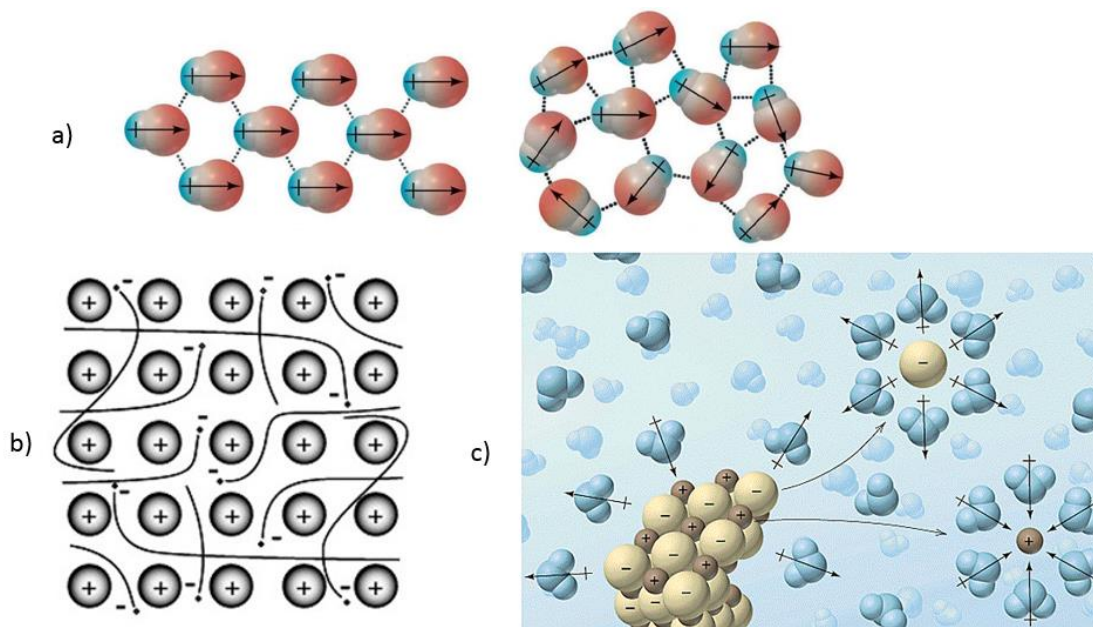
(B) Veze u molekuli H_2S lako pucaju, dok one u molekuli H_2O nisu.

(C) Razlika u jakosti međumolekulskih sila je posljedica razlike u polarnosti molekula.

(D) Razlika u jakosti međumolekulskih sila je posljedica činjenice da je H_2O polarna molekula dok je H_2S nepolarna molekula.

Tijekom ovog dijela OI-a trebalo je objasniti značenje pojmova *međumolekulske sile* i *agregacijsko stanje*.

Također, studenti su trebali prosuditi može li se neki od prikaza sa slike 12 koristiti u objašnjenju utjecaja međumolekulskih sila na agregacijsko stanje tvari.



Slika 12. Prikazi koje su studenti analizirali u kontekstu četvrtog zadatka OI-a o kovalentnoj vezi

i) Pogrešna poimanja o međumolekulskim i kovalentnim interakcijama

Analizom transkripata OI-a i zapisa istraživača koji se odnose na četvrti zadatak, opažena su sljedeća pogrešna poimanja: *Voda je pri sobnoj temperaturi u tekućem, a sumporovodik u plinovitom agregacijskom stanju jer veze u molekuli sumporovodika lako pucaju, dok one u molekuli vode nisu; Kovalentna veza u polarnim molekulama slabi pa se vodikova veza, uspostavljena između atoma kisika jedne i atoma vodika druge molekule vode, može razvući; Polarne su one molekule koje imaju polarne veze; Podjednak je broj vodikovih veza između molekula vode u tekućem i čvrstom stanju.*

Evidentirana pogrešna poimanja pokazuju da pojedini studenti agregacijsko stanje tvari povezuju s unutarmolekulskim, a ne s međumolekulskim interakcijama. Neki studenti zanemaruju prostornu građu molekule u određivanju njezine polarnosti. Posebno je zanimljiva ideja, koju je u početku podržao veći broj studenata, o slabljenju kovalentne veze u polarnim molekulama u odnosu na kovalentnu vezu u nepolarnim molekulama, i posljedično, njenoj rastezljivosti. Pojedini studenti nisu uzeli u obzir da je Pauling (1932) predložio koncept elektronegativnosti kao model utemeljen na činjenici da je kovalentna veza između dva

različita atoma u molekuli (X-Y) jača nego što bi se očekivalo računajući prosječnu jakost veza u homonuklearnim molekulama X-X i Y-Y. Primjerice, jakost veze u molekuli vodika je 432 kJ/mol, a u molekuli klora je 240 kJ/mol. Prosječna jakost veze u molekuli klorovodika nije 336 kJ/mol, što bi bila srednja jakost veze H-Cl, već iznosi 428 kJ/mol. Nadalje, uslijed djelovanja elektrostatskih interakcija, pa tako i vodikovih veza, može doći do promjene *plohe potencijalne energije* (engl. *Potential energy surface*) molekule. Iako energija veze ostaje ista, minimum potencijalne energije ostvaruje se pri drugačijoj udaljenosti povezanih atoma. Ipak, te su promjene duljine kovalentne veze za ovakva razmatranja zanemarive. Ideja pojedinih studenata o rastezljivosti polarnih veza je dimenzionirana na mnogo većoj skali. Tako se stekao dojam da su fizikalna svojstva vode dobrim dijelom posljedica rastegnutih kovalentnih veza.

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a

Studentske spoznaje stečene ovim dijelom OI-a odnose se na povezanost međumolekulskih sila s polarnošću molekule i agregacijskim stanjem tvari. Izdvojene su najučestalije spoznaje tog tipa: *Međumolekulske sile između molekula vode jače su od međumolekulskih sila između molekula sumporovodika, stoga je voda u tekućem agregacijskom stanju pri sobnoj temperaturi, a sumporovodik u plinovitom; Međumolekulske sile utječu na agregacijsko stanje tvari; Vrelište tvari građenih od molekula ovisi o međumolekulskim silama; Vodikova je veza u kristalima leda usmjerena u prostoru – po tome je slična kovalentnoj vezi; Razlika u agregacijskom stanju tvari je posljedica razlike u polarnosti njihovih molekula; Razlika u jakosti međumolekulskih sila je posljedica razlike u polarnosti molekula; Molekula vode je polarnija od molekule sumporovodika.*

Uz prethodno, zabilježene su i spoznaje, poput Martine i Antonijine, vezane uz ranije opisanu alternativnu ideju o *fleksibilnosti* kovalentne veze:

(Marta) *Ne smijemo povezivati jakost veze i polarnost veze. Praktično, kovalentna je veza između dva atoma uvijek jednake duljine.*

(Antonija) *Nema rastezanja veza uslijed povezivanja molekula vodikovim mostovima.*

(Šime) *Solvatacija iona iz ionskog kristala je moguća jer je ukupni zbroj sila kojima međusobno djeluju molekule vode i određeni ion dovoljno velik da se "isčupa" ion iz kristalne rešetke.*

Usporedbom pogrešnih poimanja i novostečenih spoznaja uočava se porast broja studenata koji pokazuju razumijevanje koncepata *polarnost* i *međumolekulske sile*. Tek troje studenata nije

steklo nove spoznaje tijekom ovog dijela OI-a. Takvi su rezultati pokazatelji pozitivnog djelovanja OI-a o kovalentnom vezivanju na ZPS studenata.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Kao kritični događaj izdvojeno je pitanje: *Kako je moguće da slabije, ion-dipolne interakcije nadjačaju jače, ion-ion interakcije?* U prvoj generaciji studenata je tijekom rasprave o smislu prikaza c) u slici 12, upotrijebljena riječ solvatacija. Studenti su znali objasniti značenje te riječi, ali nisu znali protumačiti mehanizam otapanja. Rasprava je krenula k razrješenju nakon što je postavljeno pitanje označeno kao kritični događaj.

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Ključnim detaljima u stjecanju novih spoznaja studenti su označili: (i) razgovor i raspravu s kolegama i objašnjenje pojma *solvatacija*; (ii) nove spoznaje o povezanosti međumolekulskih sila s polarnošću i agregacijskim stanjem te (iii) prikaze na projekciji, posebice prikaz otapanja ionskog kristala (c), uz objašnjenje.

Uz prethodno, evo i tri pitanja, sukladna s onim što je tijekom OI-a zapaženo, a koja su Frane i Lucija označili bitnima u stjecanju novih spoznaja:

(Frane) *Ima li razlike u broju vodikovih veza u vodi u tekućem i plinovitom stanju?*

(Lucija) *Što je solvatacija?*

(Lucija) *Kako je moguće da ion-dipolne sile nadvladaju interakcije između iona?*

Tijekom rasprave usmjerene posljednjim pitanjem, upotrijebljena je analogija prema kojoj je otapanje ionskog kristala u vodi moguće usporediti s pričom o čupanju repe. Prema priči, repa je iščupana tek nakon što se nekoliko osoba udružilo i zajedno je izvuklo iz zemlje. Iako se proces otapanja ne čini složen, a analogija gotovo banalna, nekoliko ju je studenata označilo detaljem koji im je pomogao u razumijevanju procesa otapanja kristala u vodi. S obzirom na to da je, prema priči, samo jedna osoba držala repu, dok se više molekula vode privlači s ionom, analogija nije posve prikladna pa je, tek uz dodatno pojašnjenje, ima smisla upotrijebiti u nastavi.

Navodeći razgovor i raspravu s kolegama kao bitne čimbenike u stjecanju novih spoznaja, studenti su pokazali svijest o pozitivnom učinku OI-a na razvoj njihova znanja. Prepoznavanje utjecaja konkretnih situacija, pitanja, objašnjenja, crteža i sl. na razumijevanje upućuje na

zaključak da je OI metoda kojom se može utjecati na porast metakognitivnog znanja. Znanje o tome što pozitivno utječe na vlastito razumijevanje, sutra može pomoći u učinkovitijem poučavanju kovalentnog vezivanja.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Pojedini su studenti iskazali poteškoće s definiranjem riječi *sile*, *solvatacija* te odnosom značenja pojmova *interakcija* i *veza*.

Tijekom OI-a iskristaliziralo se značenje pojma *solvatacija* – većina studenata ga je, osim na makroskopskoj razini, opisala i na razini submikroskopskih interakcija. Unatoč opetovanom razmatranju značenja pojmova *kemijska veza* i *interakcija*, nekoliko studenata, poput Luke, *vezu* ne doživljava interakcijom:

Vodikova veza znači da je vodik između dva elektronegativnija elementa – za jednog je vezan, a s drugim stupa u interakciju.

Marija je, primjerice, zapisom u dnevniku rada pokazala kako je tijekom ovog dijela OI-a shvatila značenje riječi *veza* i *interakcija* u kontekstu kemijskog vezivanja:

Veze su jače interakcije, a "interakcije" su slabije interakcije. Ion-dipolne interakcije jače su od vodikovih veza.

Međutim, Šimin je zapis, prema kojemu vodikove veze nisu međumolekulske interakcije, još jedan primjer pogrešnog poimanja:

Vodikove veze su jače nego međumolekulske interakcije.

Analizom razumijevanja značenja navedenih pojmova utvrđen je napredak pojedinih studenata tijekom ovog dijela OI-a. Iako su pronađeni i pokazatelji daljnjeg postojanja pogrešnih poimanja, OI se može opisati kao proces tijekom kojeg su pojedinci unaprijedili znanje.

v) Što bi studenti, čega su tijekom OI-a postali svjesni, koristili u poučavanju o kovalentnom vezivanju?

Studenti bi u poučavanju primijenili nove kemijske spoznaje te crteže i objašnjenja koji su im tijekom OI-a olakšali razumijevanje. Izdvojili smo nekoliko konkretnih promišljanja: *Važno je naglasiti razliku između međumolekulskih i unutarmolekulskih sila; Objasniti bih vezu međumolekulskih sila s agregacijskim stanjem tvari i polarnošću molekula, kada će koja veza/sila prevladati odnosno kada će doći do solvatacije. Nadalje, bitno je usporediti vodikove i kovalentne veze, raspraviti značenje pojmova "sila" i "veza" te definirati rezultantnu silu.*

Studenti, poput Marka i Jadranke, rado bi upotrebljavali grafičke prikaze u nastavi.

(Marko) *Koristio bih slike u puno većoj mjeri kako bih objasnio stvaranje veza i orijentaciju molekula.*

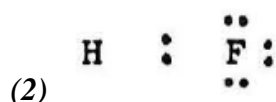
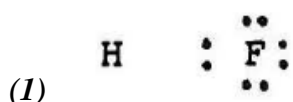
(Jadranka) *Koristila bih prikaz a) i prikaz c) (slika 12, op. a.) za objašnjenje vodikove veze i ion-dipolnih interakcija i povezala to s primjerom kojim bi pokazala da jake vodikove veze uzrokuju visoko vrelište vode te da su ion-dipolne interakcije ključ otapanja ionskih kristala u vodi.*

Podatci pokazuju da bi studenti u poučavanju primijenili ono što je pozitivno utjecalo na njihovu konceptualizaciju međumolekulskih interakcija ili što je drugim studentima pomoglo u razumijevanju te problematike. To se prije svega odnosi na novostečeni ZPS i znanje o nastavnim strategijama odnosno nastavnim sredstvima. S obzirom da su oba tipa znanja komponente MZ-a, može se zaključiti kako je i u ovom dijelu OI-a došlo do porasta MZ-a budućih nastavnika kemije.

3.3.4.2.1.5. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o polarnosti veze

Prvi zadatak +KViS-a je poslužio kao temelj za OI o polarnosti veze između atoma u molekuli.

(1.) *Koji od sljedećih izraza bolje prikazuje položaj zajedničkog elektronskog para u molekuli fluorovodika (HF)?*

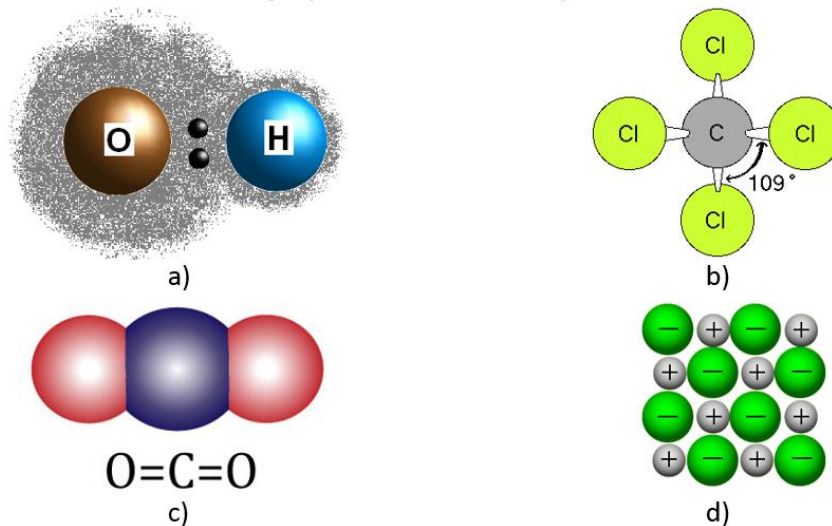


Razlog

- (A) *Elektroni nepodijeljenih elektronskih parova uvjetuju položaj zajedničkog elektronskog para.*
- (B) *Budući se vodik (H) i fluor (F) povezuju kovalentnom vezom, zajednički elektronski par treba biti smješten u sredini.*
- (C) *Fluor (F) snažnije privlači zajednički elektronski par.*
- (D) *Atom fluora (F) je veći od atoma vodika (H) pa snažnije djeluje na zajednički elektronski par.*

Tijekom ovog dijela OI-a trebalo je objasniti značenje pojmova *zajednički elektronski par*, *polumjer*, *vezni elektronski par*, *polarnost*, *polarnost veze*, *ionski karakter veze* i *elektronegativnost*.

Konačno, studenti su prikaze sa slike 13 trebali analizirati s obzirom na polarnost veza u prikazanim spojevima i prosuditi njihovu metodičku valjanost.



Slika 13. Prikazi čiju su metodičku valjanost studenti analizirali u kontekstu poučavanja o polarnosti veze

i) Pogrešna poimanja o polarnosti veze

Zabilježena su dva pogrešna poimanja i to prilikom određivanja polarnosti veza u molekuli kisikova difluorida.

(Karlo) *Svaki atom fluora ima tri nepodijeljena elektronska para, dok atom kisika ima dva, što znači da je fluor elektronegativniji.*

(Anka) *Ali, zašto bi elektron išao tamo gdje je minus? Parcijalni naboj utječe na položaj zajedničkog elektronskog para.*

Određivanje elektronegativnosti atoma prema broju njegovih nepodijeljenih elektronskih parova, pogrešan je način određivanja tog svojstva. S obzirom da je parcijalni naboj atoma posljedica nejednolike raspodjele elektronskog oblaka u molekuli, promišljanje o njegovom utjecaju na zajednički elektronski par upućuje na nerazumijevanje tog dijela koncepta kovalentne veze.

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a

Izdvojene su najčešće studentske spoznaje o kemijskom sadržaju: *Polarnost veze između atoma u molekuli i oblik molekule utječu na njenu polarnost; Nepodijeljeni elektronski parovi središnjeg atoma utječu na geometriju molekule, a time i na njenu (ne)polarnost; Molekula $S\text{Cl}_2$ je polarna; Elektronegativniji atom snažnije k sebi privlači zajednički elektronski par; Parcijalni naboj je posljedica položaja zajedničkog elektronskog para.* Evidentirali smo i nove spoznaje koje se odnose na terminologiju: *Vezni, zajednički i podijeljeni elektronski par su sinonimi.*

Pojedini su studenti tijekom ovog dijela OI-a stekli spoznaje koje su trebali usvojiti tijekom ranijeg školovanja. U njihovom slučaju, OI se pokazao učinkovitom metodom za izgradnju znanja.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Prateći tijek OI-a o polarnosti veze, nisu zabilježeni kritični incidenti. Ipak, ovdje će biti opisan pozitivan primjer razumijevanja polarnosti molekule sumporova diklorida. Dio studenta Lewisove strukture razmatra dvodimenzionalno pa im se čini da se jedan od slobodnih elektronskih parova atoma kisika smješta iznad, a drugi ispod ravnine u kojoj zamišljaju S-Cl veze. Prema takvoj predodžbi S-Cl veze se nalaze pod kutom od 180° . S takvim razmještajem elektronskih parova sumporov diklorid bi bio napolarna molekula. Naglašavanje trodimenzionalne strukture molekule sumporova diklorida, crtež tetraedarskog rasporeda elektronskih parova središnjeg atoma na ploči i vektorsko označavanje polarnih veza, dovelo je dio studenata do razumijevanja polarnosti te molekule.

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Ključnim razlozima stjecanja novih spoznaja o polarnosti veze, a potom i o polarnosti molekula, studenti su označili: (i) razgovor i raspravu s kolegama, OI; (ii) spoznaju o utjecaju nepodijeljenih elektronskih parova središnjeg atoma na polarnost molekule i (iii) Lewisove prikaze molekula, posebice prikaz strukture molekule sumporova diklorida na ploči, uz vektorske prikaze veza. Kao pokazatelj navedenoga, izdvojena su dva zapisa iz dnevnika rada:

(Željka) Do spoznaje me dovela slika s ploče na kojoj je prikazana struktura $S\text{Cl}_2$ s označenim vektorima na svakoj od veza. Dok je crtež $S\text{Cl}_2$ bio na ploči, trajala je i rasprava.

(Petra) *Pomogla mi je rečenica da nepodijeljeni elektronski par uvjetuje položaj zajedničkog elektronskog para. To znači da uvjetuje i polarnost, prikazujemo je s vektorima pa ovisi o položaju hoće li se poništiti ili ne.*

Prepoznavanjem čimbenika koji su im pomogli u razumijevanju polarnosti veze i polarnosti molekule, studenti su stekli spoznaje o detaljima koji nastavu o polarnosti mogu učiniti efikasnijom. Stoga se svijest o konkretnim kritičnim incidentima smatra pokazateljem porasta MZ-a.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Nisu zabilježene poteškoće s objašnjavanjem pojmova *polumjer*, *polarnost*, *polarnost veze*, *ionski karakter veze* i *elektronegativnost*. Međutim, objašnjenja pojmova *zajednički elektronski par* i *vezni elektronski par* pokazuju zbunjenost studenata glede njihova značenja.

(Ana) *Vezni je par onaj koji čini vezu, a zajednički elektronski par ne mora nužno ostvarivati vezu.*

(Ante) *Vezni par je onaj u sigma vezi, a zajednički par može biti u sigma, pi ili koordinacijskoj vezi.*

(Kolinda) *Zajednički elektroni su samo oni koji stoje između iona – tu nemamo vezu – a vezni su oni koji čine kovalentnu vezu.*

(Petar) *Zajednički je onaj koji se nalazi između atoma jednake elektronegativnosti, a vezni elektronski par je onaj između atoma različite elektronegativnosti.*

(Iva) *Zajednički... je između istih atoma u molekuli - znači jednako se privlače, a vezni između različitih atoma u molekuli – znači različito se privlače. Npr. u molekuli klorovodika imamo vezni par, zato što klor jače privlači taj zajednički elektronski par pa samo se vežu. S druge strane, npr. u molekuli H₂, par između dva atoma vodika je zajednički.*

Veliki je broj studenata dijelio stavove citiranih pojedinaca, posebice Petrove. Čini se da je slično razmišljala i Iva, ali odabir riječi u drugoj rečenici upućuje da vezni par doživljava zajedničkim. To nas vodi do mogućnosti da su studenti suočeni s našim traženjem objašnjenja dvaju sinonima zapravo posumnjali u istoznačnost njihova značenja. Međutim, veliki broj netočnih objašnjenja i gotovo plebiscitarna podrška nekima od njih, ukazuje na značajan problem. Tome u prilog govore i prijedlozi pojedinih studenata, zabilježeni u dnevnicima rada,

o jednom terminu za kojeg se treba odlučiti i jedinog ga koristiti u nastavi. I mi, nakon ovih rezultata, zastupamo takav stav.

v) Što bi studenti, čega su tijekom OI-a postali svjesni, koristili u poučavanju o kovalentnom vezivanju?

Studenti se prijedlozima nisu referirali na poučavanje *polarnosti veze* već *polarnosti molekule*. Mnogi bi polarnost objasnili na primjeru strukture molekule sumporova diklorida, uz vektorsko označavanje smjera pomaka zajedničkih elektronskih parova. Ipak, najveći je broj studenata, poput Ivane, važnim procijenio uporabu samo jednog termina za elektronski par kojeg, prema modelu kovalentne veze, dijele dva atoma:

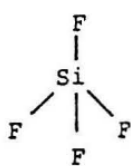
Pripazila bih da upotrijebavam samo jedan termin za zajednički/vezni i nepodijeljeni/nevezni par, kako ne bih zbunila učenike.

Iako je evidentirano tek nekoliko različitih prijedloga za poučavanje polarnosti veze, odnosno molekule, predložena su rješenja pokazatelj porasta MZ-a pojedinih studenata pod utjecajem OI-a.

3.3.4.2.1.6. Prikaz i interpretacija kvalitativnih rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju u kontekstu zadatka o polarnosti molekule

Šesti je zadatak +KViS-a poslužio kao temelj za OI o polarnosti molekule.

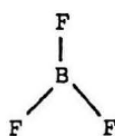
(6.) *Koja je, među prikazanim molekulama, polarna?*



(1)



(2)



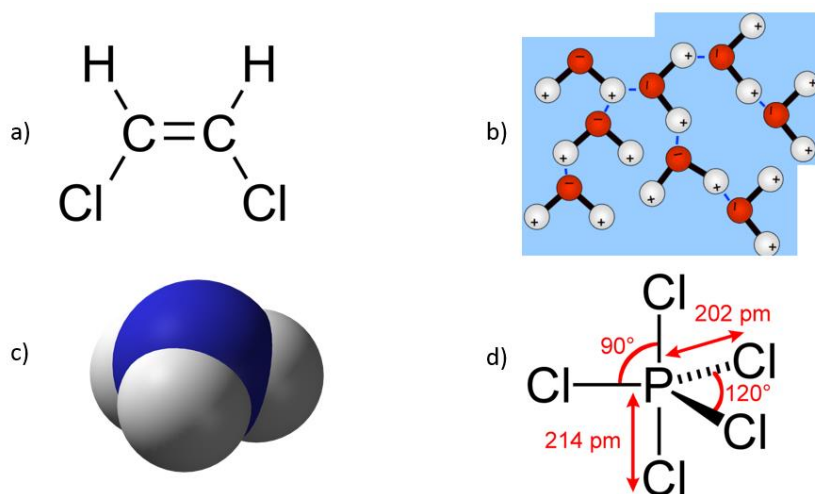
(3)

Razlog

- (A) *Molekula je polarna zbog visoke elektronegativnosti fluora.*
- (B) *Nesimetrične molekule sastavljene od različitih atoma su polarne.*
- (C) *Nepodijeljeni elektroni atoma u molekuli induciraju dipol i time molekulu čine polarnom.*
- (D) *Velika razlika u elektronegativnosti atoma povezanih kemijskim vezama molekulu čini polarnom.*

Tijekom ovog dijela OI-a trebalo je objasniti značenje pojmova *nepodijeljeni elektronski par*, *polarnost molekule* i *oblik molekule*.

Konačno, studenti su prikaze sa slike 14 trebali analizirati s obzirom na polarnost molekula i metodičku valjanost.



Slika 14. Prikazi koje su studenti analizirali s obzirom na polarnost molekula i metodičku valjanost.

i) Pogrešna poimanja o polarnosti molekula

Zabilježena su sljedeća pogrešna poimanja o polarnosti molekula: *Polarne su samo one molekule u kojima postoji barem jedan atom visoke elektronegativnosti; Molekula BF_3 je polarna – smjer dviju veza se poništava, ali ne ostaje ništa s čime se može poništiti smjer treće veze; Nepodijeljeni elektroni atoma u molekuli induciraju dipol i time molekulu čine polarnom.*

ii) Nove spoznaje stečene tijekom OI-a

S obzirom da je OI-om o polarnosti veze raspravljena i polarnost molekula, manji je broj studenata nakon OI-a o polarnosti molekule zabilježio nove spoznaje. Nekoliko je studenata razumjelo kako polarnost molekule ovisi o polarnosti veza i obliku molekule. Među onima koji su stekli nove spoznaje, najviše ih je navelo razumijevanje nepolarnosti molekule borova trifluorida.

(Katja) Molekula BF_3 je nepolarna. Kut je jednak među svim vezama (120°). Svi jednako vuku elektrone k sebi.

Nekoliko je studenata pogrešno spoznalo kako nepodijeljeni elektroni atoma u molekuli induciraju dipol i time molekulu čine polarnom. Iako su pojedinci tijekom OI-a ispravno naglašavali da se navedena tvrdnja može odnositi samo na nepodijeljene elektronske parove središnjeg atoma u molekuli, očito svi studenti nisu prihvatili njihove argumente. Pojava pogrešnog poimanja među novim spoznajama stečenim tijekom OI-a o polarnosti molekule može upućivati na propuste u vođenju ovog dijela OI-a.

iii) Kritični događaji

a) Kritični događaji iz perspektive istraživača

Nekolicina je studenata molekulu borova trifluorida smatrala polarnom. Utjecaj neparnog broja polarnih veza u planarnoj molekuli, prema njihovom razmišljanju, rezultira asimetričnom strukturom. Na vrhuncu rasprave o ovom problemu, upotrijebljena je analogija, označena kritičnim incidentom, ukratko opisana u nastavku. Zamisljena je situacija u kojoj tri jednako građene i jednako snažne, međusobno maksimalno udaljene osobe, istom silinom, jednako dugim konopcima privezan klin izvlače iz zemlje. S obzirom da svatko vuče u svom smjeru, klin neće moći izvući. Projekcija takve situacije na strukturu molekule borova trifluorida, u kojoj je atom bora *klin*, dok su atomi fluora *momci koji ga vuku*, pomogla je studentima u poimanju nepolarnosti te molekule.

b) Kritični događaji iz perspektive studenta

Ključnim razlozima stjecanja novih spoznaja o polarnosti molekula, pojedini su studenti označili: (i) razgovor i raspravu s kolegama; (ii) spoznaju o parcijalnom naboju kao posljedici neravnomjerne gustoće elektronskog oblaka; (iii) crteže s ploče, posebice prikaz strukture molekule kisikova difluorida, prikaze s prezentacije te analogiju s povlačenjem klina. Izdvojena su dva zapisa; prvi svjedoči o pozitivnom utjecaju OI-a na promišljanje o polarnosti molekula, a drugi o doprinosu OI-a porastu MZ-a.

(Marta) Diskusija između kolega potaknula me na razmišljanje o polarnosti molekula na način na koji prije nisam bila sposobna.

(Josipa) Do spoznaje me dovelo super objašnjenje - analogija u kojoj se s 3 konopca vuče isti klin u sredini, a on ostaje na mjestu.

iv) Riječi koje studentima predstavljaju poteškoće u razumijevanju

Nisu zabilježene poteškoće s pojmovima *nepodijeljeni elektronski par*, *polarnost molekule i oblik molekule*. Opaženo je tek da je dvoje studenata, u nekoliko navrata, nepolarnu molekulu nazvalo neutralnom.

v) Što bi studenti, čega su tijekom otvorenog intervjua postali svjesni, koristili u poučavanju o kovalentnom vezivanju?

Nakon ovog dijela OI-a, većina bi studenata, u nastavi, posebnu pažnju pridala raspodjeli naboja u molekulama. Neki od njih bi, zbog toga, poučavali o formalnom naboju iako taj termin nije uključen u program srednjoškolske kemije. Zabilježena su dva tipa studentskih prijedloga

koji uključuju konkretne nastavne aktivnosti - jedni bi uz pomoć prikaza molekule kisikova difluorida objasnili polarnost molekule, dok bi drugi trokutastu strukturu planarnih molekula objasnili pomoću analogije *Izvlačenja klina*.

Iako je evidentirano tek nekoliko različitih prijedloga za poučavanje polarnosti molekule, predložena su rješenja, izazvana OI-om, pokazatelj porasta MZ-a predlagatelja.

3.3.4.2.2. Prikaz i interpretacija kvantitativnih rezultata OI-a o kovalentnoj vezi

Nakon provedbe pojedine etape OI-a o kovalentnom vezivanju, studenti bi, u dnevnicima rada, riješili razmatrani zadatak. Točnim je prosuđeno rješenje zadatka samo ako su odgovor i odabrani razlog odnosno objašnjenje, bili ispravni. Primjerice, točno rješenje četvrtog (7.) zadatka uključuje odgovor o razlici u agregacijskim stanjima vode i sumporovodika (pri normalnim uvjetima) kao posljedici jačih međumolekulskih sila između molekula vode, te pojašnjenje da je razlika u jakosti međumolekulskih sila posljedica razlike u polarnosti molekula. Uspješnost rješavanja šest zadataka upotrijebljenih u OI o kovalentnoj vezi iskazana je u postocima, u tablici 46.

McNemarovim su testom za zavisne dihotomne varijable uspoređeni studentski rezultati zadataka upotrijebljenih u OI-u o kovalentnom vezivanju i rezultati istih zadataka koje su studenti postigli popunjavanjem +KViS-a, u drugoj etapi ovog doktorskog istraživanja. Na taj su način dobiveni podatci o statističkoj značajnosti razlika u rezultatima po svakom zadatku.

Tablica 46. Rezultati studentskih odgovora na šest zadataka upotrijebljenih u OI-u o kovalentnom vezivanju

OI	+KViS	Zadatak (<i>Originalni su zadatci prikazani u prilogu 10</i>)	točno		netočno	
			n	%	n	%
1.	(15.)	Koji prikaz najbolje predstavlja strukturu N_2Cl_4 ?	36	97,3	1	2,7
2.	(4.)	Silicijev karbid ima visoko talište i vrelište. Sugeriraju li podatci da su veze u silicijevom karbidu slabe ili jake?	34	97,1	1	2,9
3.	(5.)	Ima li molekula SCl_2 najvjerojatnije savijen (svinut ili "V") oblik ili ravan (linearan) oblik?	30	93,8	2	6,3
4.	(7.)	Je li razlika u agregacijskim stanjima vode i sumporovodika posljedica relativno jakih međumolekulskih sila između H_2O molekula ili H_2S molekula?	29	96,7	1	3,3
5.	(1.)	Koji od ponuđenih izraza bolje prikazuje položaj zajedničkog elektronskog para u molekuli fluorovodika (HF)?	26	89,7	3	10,3
6.	(6.)	Koja je, među prikazanim molekulama (silicijev tetrafluorid, vodikov difluorid i borov trifluorid), polarna?	23	95,8	1	4,2

Postotak riješenosti svakog zadatka upotrijebljenog u OI-u o kovalentnoj vezi (tablica 46) viši je od rezultata u ranijem testiranju (tablice 25 – 30). Zanimljivo je da su nakon OI-a gotovo svi studenti točno riješili razmatrane zadatke. Takav je rezultat pokazatelj pozitivnog učinka OI-a na njihov ZPS. Najveći broj pogrešnih odgovora odnosi se na peti (1.) zadatak. Naime, troje je studenata nakon OI-a položaj zajedničkog elektronskog para u molekuli fluorovodika smatralo jednako udaljenim od atoma vodika i atoma fluora, unatoč velikoj razlici u elektronegativnosti tih atoma.

Usporedba rezultata postignutih prije i nakon OI-a McNemarovim testom pokazuje da su rezultati prvog (15.) ($p < 0,001$), drugog (4.) ($p < 0,001$), trećeg (5.) ($p < 0,001$), četvrtog (7.) ($p < 0,001$) i šestog (6.) zadatka ($p < 0,001$) nakon OI-a statistički značajno bolji od rezultata prvog testiranja. Iako su rezultati petog (1.) zadatka također bolji nakon provedenog OI-a, razlika u odnosu na ranije testiranje nije statistički značajna. Temeljem ovih rezultata sa sigurnošću se može zaključiti da je razmatranje prvog (15.) zadataka, drugog (4.), trećeg (5.), četvrtog (7.) i šestog (6.) zadatka OI-a u kontekstu kovalentnog vezivanja rezultiralo porastom ZPS-a budućih nastavnika kemije.

3.3.4.3. Pregled rezultata OI-a o kovalentnom vezivanju s raspravom i preporukama za nastavu

Tijekom OI-a o kovalentnom vezivanju poraslo je znanje pojedinih studenata o obliku molekule, strukturi tvari, međumolekulskim interakcijama, polarnosti veze i polarnosti molekule. Kvantitativni podatci pokazuju da taj porast jedino u kontekstu polarnosti veze (peti (1.) zadatak) statistički nije značajan. Kvalitativni podatci potvrđuju napredak pojedinih studenata u razumijevanju svakog od 6 koncepata relevantnih za razumijevanje modela kovalentne veze. Kao potpora takvom zaključku izdvojena su i u tablici 47 uparena pogrešna poimanja i nove spoznaje.

Tablica 47. Uparena pogrešna poimanja i nove spoznaje koje su studenti stekli tijekom OI-a o razumijevanju kovalentne veze

Koncept	Pogrešno poimanje	Nove spoznaje
Oblik molekule	<i>Struktura molekule posljedica je odbijanja veza u molekuli.</i>	<i>Struktura didušikova tetraklorida je posljedica odbijanja četiriju elektronskih parova, uključujući zajedničke i nepodijeljene.</i>
	<i>Na oblik molekule značajno utječu nepodijeljeni elektronski parovi perifernih atoma.</i>	<i>Nepodijeljeni elektronski parovi na perifernim atomima ne utječu na oblik molekule.</i>
Struktura	<i>Molekulski kristal čine pravilno raspoređeni atomi u nekoj molekuli. Fuleren nije makromolekula jer je sastavljen samo od atoma.</i>	<i>Molekulski su kristali građeni od molekula povezanih međumolekulskim vezama.</i>
	<i>Makromolekula je sastavljena od manjih molekula – ne može biti sastavljena samo od atoma.</i>	<i>Kovalentni kristal silicijeva karbida možemo smatrati makromolekulom. Atomi kristali mogu biti građeni od različitih atoma.</i>
	<i>Silicijev karbid ne može bit kovalentni kristal jer u njemu imamo različite atome, za razliku od dijamanta za kojeg znamo da je kovalentni kristal;</i>	<i>Sve veze u kristalu silicijeva karbida su jednake – riječ je o kovalentnom kristalu.</i>
Međumolekulske sile	<i>Voda je pri sobnoj temperaturi u tekućem, a sumporovodik u plinovitom agregacijskom stanju jer veze u molekuli sumporovodika lako pucaju, dok one u molekuli vode nisu.</i>	<i>Međumolekulske sile između molekula vode jače su od međumolekulskih sila između molekula sumporovodika, stoga je voda u tekućem agregacijskom stanju pri sobnoj temperaturi, a sumporovodik u plinovitom.</i>
	<i>Kovalentna veza u polarnim molekulama slabi pa je vodikova veza uspostavljena između atoma kisika jedne i atoma vodika druge molekule vode može razvući;</i>	<i>Nema (bitnog) rastezanja veza uslijed povezivanja molekula vodikovim mostovima.</i>
Polarnost veze	<i>Parcijalni naboj utječe na položaj zajedničkog elektronskog para.</i>	<i>Parcijalni naboj je posljedica položaja zajedničkog elektronskog para (odnosno neravnomjerne gustoće elektronskog oblaka, op. a.).</i>
Polarnost molekule	<i>Polarne su one molekule koje imaju polarne veze.</i>	<i>Nepodijeljeni elektronski parovi središnjeg atoma utječu na geometriju molekule, a time i na njenu (ne)polarnost.</i>

Tijekom OI-a prepoznati su različiti kritični događaji. Tako je, primjerice, razumijevanje termina *formulska jedinka*, *solvatacija* i *empirijska formula* značajno olakšala rasprava potaknuta sljedećim pitanjima i zadatkom:

- (a) Smijemo li temeljem strukture silicijeva karbida reći da je formula silicijeva karbida SiC?
- (b) Kako je moguće da slabije, ion-dipolne interakcije nadjačaju jače, ion-ion interakcije?
- (c) Usporedimo strukturu glukoze i silicijeva karbida i vrstu formula kojima prikazujemo njihov sastav.

Najveći je broj studenata kritičnim incidentom doživio analogiju *Izvlačenja kolca* u objašnjenju strukture borova(III) fluorida i demonstraciju značenja riječi *dijeliti* u kontekstu dijeljenja zajedničkog elektronskog para.

Temeljem analize podataka o razumijevanju značenja pojedinih pojmova, zaključeno je kako se termini *kemijska veza*, *interakcija* i *elektronegativnost* mogu izdvojiti kao prekursori razumijevanja pojedinih koncepata obuhvaćenih temom *kovalentna veza*. Kad je trebalo objasniti prirodu i model kovalentne veze, studenti bi se referirali na te pojmove i pokušavali protumačiti njihovo stvarno značenje.

Promišljajući o poučavanju o kovalentnim vezama, studenti su, konkretno i opetovano, isticali kako bi u nastavi upotrijebili ZPS stečen tijekom OI-a. Budući je ZPS temeljna komponenta MZ-a (Shulman, 1987), zaključak je da su se povećanjem ZPS-a stvorili uvjeti za porast MZ-a. Također, studenti su navodili kako bi u poučavanju o kovalentnom vezivanju upotrebljavali konkretne grafičke prikaze, objašnjenja i analogije koje su tijekom provedbe OI-a procijenili kvalitetnima. Pojedinci su pokazali da znaju odrediti prioritete i redoslijed poučavanja. To novostečeno znanje o konkretnim nastavnim sredstvima i pristupima specifičnima za temu *Kovalentna veza*, kao i znanje o elementima kurikuluma, pokazatelji su povećanja MZ-a o kovalentnom vezivanju. Takvim pokazateljima smatraju se i nove spoznaje o značenju pojedinih znanstvenih, ali svakodnevnih termina razmatranih u kemijskom kontekstu, poput termina *podijeljeni*, *vezni* i *zajednički elektronski par*, *formulska jedinka* i riječi *dijeliti*.

Prepoznati jezični prekursori, kritični događaji, analogije, konkretne ideje o poučavanju i objašnjavanju razmatranih koncepata, kao i sama metoda OI-a, mogu se, u određenim

okolnostima, iskoristiti za unaprjeđenje nastave kemije, odnosno za postizanje učeničkog i studentskog razumijevanja kemijskog vezivanja.

Prethodno navedeni rezultati svjedoče o pozitivnim efektima OI-a o kovalentnom vezivanju na ZPS i MZ sudionika ovog istraživanja. Međutim, prepoznaju li studenti djelotvornost OI-a, pitanje je na koje još nije odgovoreno. Podatci iz dnevnika rada sugeriraju da studenti prepoznaju utjecaj OI-a o kovalentnom vezivanju na svoje znanje. U rubrici o kritičnim događajima su, naime, često navodili kako su do novih spoznaja došli zahvaljujući razgovoru i raspravi, odnosno OI-u. S obzirom da ovo pitanje zaslužuje veću pozornost, detaljnija će mu se pozornost posvetiti u zadnjem odlomku ovog poglavlja o OI-u.

3.3.4.4. Zaključak

OI-om o kovalentnom vezivanju evidentirana su pogrešna studentska poimanja o konceptima bitnima za razumijevanje kovalentnog vezivanja. Njihovim je otkrićem potvrđen dijagnostički potencijal OI-a. Kvantitativni rezultati svjedoče o osvješćivanju problema razumijevanja i rekonstrukciji ZPS-a pojedinih studenata u okruženju te metode. Pridodavši tome statistički značajan učinak OI-a o kovalentnom vezivanju na porast ZPS-a studenata o pravilu okteta, strukturi tvari, obliku molekule, međumolekulskim silama i polarnosti molekula, OI o kovalentnom vezivanju pokazao se učinkovitom strategijom za stjecanje ZPS-a. Ideje i konkretni prijedlozi studenata o poučavanju kovalentnog vezivanja, koji su se kroz osobno iskustvo pokazali učinkovitima, pokazatelj su porasta studentskog MZ-a o kovalentnom vezivanju. Svijest studenata o važnosti razumijevanja i načinima objašnjavanja konkretnih pojmova u kontekstu kovalentnog vezivanja, potvrda je djelotvornosti OI-a u izgradnji studentskog MZ-a.

3.3.5. OI iz perspektive studenata

Na samom kraju istraživanja provedena je fokusna grupa (MZ-FO). Dvije su skupine studenata propitivane o spoznajama i dojmovima koje su stekli tijekom provedbe cjelokupne studije. Između ostalog, pitani su jesu li u tom periodu osvijestili neko vlastito pogrešno poimanje ili površno razumijevanje. Svi su potvrdno odgovorili i kao uzrok naveli OI. Ta ih je metoda kognitivno i emocionalno aktivirala te omogućila rekonstrukciju znanja. Zahvaljujući OI-u postali su svjesni potrebe i načina preispitivanja znanja svojih budućih učenika. Kao prilog ovim spoznajama citirana je studentska komunikacija u drugoj fokusnoj grupi koja je uslijedila nakon postavljanja navedenog pitanja:

(Ana) Otvoreni intervju, od toga je sve počelo.

(Marija) *Mi smo otvoreni intervju imali i u učionici i na kavama. Mi smo šizili doslovno.*

(Lucija) *Pogotovo nakon prvog. Cijeli kvart Spinut zna za to, grozno. Bili smo frustrirani. Baš smo puno o tome razgovarali. Naši razgovori nikad nisu završavali ovdje, jer očito se previše družimo tako da smo raspravljali o tome na svim razinama, pa i na razini da smo prezirali sve to i na razini da nam je bilo svega dosta. Stalno smo nekako bili u tome.*

(Karmela) *Nakon otvorenog intervjua sam shvatila da učenicima nije dovoljno objasniti što je pogrešno. Oni bi rekli dobro, i opet bi radili po svome. Jer ja bi isto tako napravila. Ne možeš mi doći i reći da nešto, nakon sto godina učenja, nije dobro. Međutim, kad se učenike dovede u situaciju da, na neki način, sami preispituju svoje znanje, onda je to već druga stvar. Mi smo bili dovedeni u takvu situaciju. Nama je nakon trećeg otvorenog intervjua postalo jasno da ono što smo mislili ranije ne može biti tako... Nikako... Teška srca, ali morali smo to prihvatiti.*

(Ana) *Baš je bilo teško.*

(Ivona) *Teška srca, ali morali smo se s tim nositi i prihvatiti da je to novo, jer je očito imalo više smisla nego naše staro. Očigledno je to bilo tako.*

(Marta) *Sada znam da se mogu promijeniti pogrešna shvaćanja kod učenika. Jer isto kao što smo mi bili dovedeni otvorenim intervjuom u takvu situaciju, mi to možemo napraviti i svojim učenicima.*

Iz citiranog je vidljivo snažno opiranje studenata promjeni utvrđenih poimanja, u ovom slučaju o ionskom i kovalentnom vezivanju. OI su doživjeli metodom uz pomoć koje se znanje može rekonstruirati. Iako nije eksplicitno navedeno u kojim bi situacijama koristili OI u vlastitoj nastavi, evidentirana je želja studenata i svijest o potrebi poučavanja učenika uz pomoć te ili takve metode.

ZAVRŠNA RAZMATRANJA

4. ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Između različitih konceptualizacija MZ-a, slijedila se ona Magnussona i sur. (1999). U ovoj su disertaciji istraživane dvije domene tog koncepta: znanje o studentskom razumijevanju i znanje o nastavnim strategijama i metodama. Drugim riječima, prepoznavane su poteškoće studentskog razumijevanja i ispitivana potencijalna metodska rješenja koja bi obogatila MZ o kemijskom vezivanju.

U skladu s partikularnim ciljevima, u ovom je radu učinjeno sljedeće: (a) istraženo je studentsko razumijevanje određenih riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije, odnosno u učenju i poučavanju o kemijskom vezivanju, te je utvrđena osviještenost budućih nastavnika o pozornosti koju treba pridati jeziku nastave kemije; (b) istraženo je razumijevanje modela ionskog i kovalentnog vezivanja sudionika obrazovnog sustava u RH i (c) istraženi su potencijali OI-a za dijagnozu pogrešnih poimanja ionskog i kovalentnog vezivanja, rekonstrukciju ZPS-a i identifikaciju pokazatelja MZ-a.

Slijedom kojim su navedene aktivnosti ovoga rada, u nastavku će biti razmotrene i ukratko raspravljene najvažnije spoznaje u kontekstu MZ-a.

4.1 Jezik nastave kemije i MZ

Magnusson i sur. (1999) u svoju konceptualizaciju MZ-a nisu uključili znanje o jeziku. Ovim se istraživanjem to znanje pokazalo bitnim čimbenikom razumijevanja modela kemijskog vezivanja. Može li se temeljem toga zaključiti da je znanje o jeziku dio MZ-a? Uvjetovanost konceptualnog (ne)razumijevanja modela kemijskog vezivanja semantičkim kompetencijama nedvojbeno upućuje na potvrđan odgovor. Štoviše, budući da je primarni fokus ovog istraživanja o jeziku bio na razumijevanju značenja pojmova koji se koriste u nastavi kemije, spoznaje do kojih se došlo mogu se pripisati 3. domeni MZ-a - Znanju o učeničkom/studentskom razumijevanju kemije. Markić (2016) je u terminološkom određenju veze jezika i MZ-a krenula drugim putem. Prepoznavši specifičnu ulogu tehničkog (znanstvenog) jezika u učenju i poučavanju kemije, konceptualizirala je Metodičko znanje o znanstvenom jeziku kemije, MZZJ. Kao što je semantička komponenta, praćena u našem istraživanju, samo jedna dimenzija jezika, tako je tehnički (znanstveni) rječnik kemije samo dio vokabulara nastave kemije. Ako njima, između ostalog, pridodamo probleme definiranja i probleme s različitim načinima komuniciranja (izgovorenim i pisanom riječi, slikama, dijagramima, grafikonima, animacijama, simulacijama, fizičkim modelima, praktičnim radom...) (Wellington i Osborne, 2001), od kojih su neki prepoznati u ovom istraživanju,

potreba detaljnije konceptualizacije i značajnijeg bavljenja jezikom u kontekstu metodičkog znanja kemije, postaje još izraženija.

Vodeći računa o praktičnosti zaključaka odnosno primjenjivosti rezultata, konstantno je postavljano pitanje: Što rezultati znače? Uistinu, što znači spoznaja da pojedini studenti *koeficijentu* pridaju značenje *kvocijenta* ili da većina ne zna objasniti značenje riječi *sile* u kontekstu van der Waalsovih interakcija? Je li uopće bitno što neki *frakciju* smatraju *frakturom* ili *slično* sinonimom riječi *simultano*? Hoće li u nastavi kemije, kada se upotrijebi riječ *frakcija*, studenti ili učenici misliti da je riječ o *frakturi*? Ako je problem s *frakcijom* izražen samo u kontekstu zadatka s biranim ometačima, zašto su rezultati tog zadatka bitni? Odgovor je, čini se, vrlo jednostavan. Bitni su jer pokazuju da veliki dio studenata nije siguran u značenje riječi *frakcija*. Zbog toga nastavnik ne može biti siguran da će poruke koje uključuju tu riječ biti potpuno shvaćene. Svijest o *problematicnosti* neke riječi, dio je MZ-a nastavnika i omogućuje posvećivanje veće pozornosti učeničkom/studentском razumijevanju njenog značenja. Nerazumijevanje riječi *sile*, s obzirom na razinu apstrakcije tog pojma i značaj za razumijevanje različitih koncepata, vjerojatno je veći problem. Svijest o tome nastavnicima pruža priliku za preciznijim i fokusiranijim planiranjem i organiziranjem nastave, primjerice o kemijskom vezivanju ili strukturi tvari.

Nastavnici kemije tijekom radnog vijeka mogu spoznati s kojim riječima i simbolima učenici ili studenti imaju manje, a s kojima više poteškoća. Međutim, budući su nastavnici kemije uglavnom lišeni takvih prilika. Nije svejedno s kakvim će stavovima i očekivanjima o učeničkom razumijevanju pojmova ući u škole. Prema rezultatima OZO(RO) metode studentska očekivanja i kriteriji procjene učeničkog razumijevanja nisu konzistentni. S obzirom na nedostatak iskustva rada s učenicima, takav se nalaz mogao očekivati. Zanimljivo je, pretpostavlja se, baš zbog nedostatka iskustva, da studenti učeničko razumijevanje uglavnom prosuđuju prema vlastitom znanju. Zahvaljujući tome, izlaganje OZO(RO)-metodi rezultiralo je porastom svijesti studenata o većoj složenosti značenja (odnosno objašnjavanja značenja) većine pojmova od prvotno očekivane. Svijest budućih nastavnika kemije o *problematicnosti* određenih pojmova, dakle, posljedica je porasta metakognitivnog znanja – znanja o svome znanju. Znanje o organizaciji i potencijalima OZO(RO)-metode, dio je MZ-a nastavnika metodike nastave kemije.

Općenito gledajući, sudionici ovog istraživanja nisu demonstrirali kvalitetno znanje o značenju zadanih riječi i simbola. U takvim se okolnostima OZO(RO)-metoda pokazala učinkovitim pristupom. Odgovor na pitanje: Bi li učinkovitost OZO(RO)-metode bila drugačija da je primijenjena na uzorcima studenata boljeg znanja ili nastavnicima kemije?, vrijedan je novog

istraživanja. Eventualni pozitivni potencijali mogli bi se iskoristiti u programima stručnog usavršavanja nastavnika za osvježavanje složenosti jezika nastave kemije i preispitivanje pogleda na znanje o razumijevanju svojih učenika.

4.2. Razumijevanje modela kemijskog vezivanja i MZ

Ovim je istraživanjem utvrđeno neadekvatno znanje o kovalentnom i ionskom vezivanju na svim razinama obrazovnog sustava u RH. Evidentirana su pogrešna poimanja i analizirani mogući uzroci. Što to znači za MZ o kovalentnoj vezi i strukturama, odnosno ionskom vezivanju? Iako je znanje individualna kategorija, mislimo da nećemo pogriješiti u zaključku da rezultati ovog dijela istraživanja obogaćuju korpus MZ-a profesije u smislu detekcije problema razumijevanja kemijskog vezivanja i njegovih uzroka. MZ nastavnika kemije o kemijskom vezivanju porast će tek nakon susreta s ovim radom ili kada se prepoznati problemi krenu analizirati kroz aktivnosti stručnog usavršavanja.

Što se tiče budućih nastavnika kemije, slijedeći konceptualizaciju Magnussona i sur. (1999), zaključeno je da sudjelovanje u popunjavanju +TTAIB-a i +KViS-a, nije utjecalo na njihovo MZ o kemijskom vezivanju. Međutim, izloženost tim instrumentima rezultirala je porastom znanja o vlastitom znanju.

Konačno, MZ o kemijskom vezivanju autora ove disertacije, poraslo je u domeni znanja o razumijevanju studenata. Također, stečeno je znanje o razumijevanju učenika u srednjim školama i nastavnika kemije. Sagledavanje problema u tom okruženju, u kojem će budući nastavnici kemije raditi, nastavniku metodike nastave kemije pruža priliku za precizne intervencije usmjerene prema porastu njihova ZPS-a i MZ-a.

4.3. OI o kovalentnom i ionskom vezivanju i MZ

Poučavanje može biti vrlo zahtjevan proces, posebno ukoliko su učenici i studenti već izgradili pogrešne predodžbe. U takvim situacijama, inzistiranje nastavnika na učeničkom/studentskom odbacivanju ukorijenjenih poimanja i znanstveno neutemeljenih uvjerenja, nema efekta (Committee on Undergraduate Science Education, 1997). Tijekom nastavne komunikacije, nove se konceptualizacije učenika i studenata natječu s postojećim, nerijetko pogrešnim poimanjima. Sadler i sur. (1987) su istakli sljedeće:

Vjerojatno su svi učenici i studenti izgradili manji ili veći broj pogrešnih predodžbi, ali ih nisu svjesni. Moramo ih osvijestiti. Samo tada im možemo omogućiti učenje i osloboditi ih iz njihovog privatnog svemira.

Jedna od metoda za osvješćivanje pogrešnih poimanja i omogućavanje konstruktivnog učenja je OI. Kvalitativni i kvantitativni rezultati ovog istraživanja svjedoče o porastu ZPS-a i MZ-a budućih nastavnika kemije o kovalentnom i ionskom vezivanju uslijed izlaganja OI-u. Time je potvrđen edukacijski potencijal te metode. Prepoznavanjem pogrešnih poimanja iz transkripata, dnevnika rada i zapisa istraživača, potvrđen je identifikacijski potencijal te metode. Zahvaljujući specifičnoj strukturi OI-a, studentima je omogućeno sustavno povezivanje značenja ključnih pojmova sa značenjem drugih koncepta, čiji su dio. Primjerice, razmatranje značenja pojma *molekula* u okviru koncepta *kovalentno vezivanje*, i obrnuto, može doprinijeti boljem konceptualnom razumijevanju obaju elemenata kemijskog sadržaja. Posebnu vrijednost OI-a očituje se u mogućnosti prepoznavanja kritičnih incidenata – mini alata za izazivanje konceptualnih promjena. Navedene značajke svjedoče o kvaliteti metode, ali ovdje se, prije svega, treba zaključiti što to znači za MZ budućih nastavnika o kovalentnoj vezi i strukturama te ionskom vezivanju.

OI ima pozitivan utjecaj na MZ budućih nastavnika kemije na barem dva načina: (a) omogućuje porast ZPS-a, koji je, prema Shulmanu (1987), dio MZ-a, i (b) postavlja studente u situacije u kojima logika promišljanja, odnosno slaganje kognitivnih shema, s jedne strane, i analiza te uporaba odgovarajućih nastavnih sredstava, s druge strane, rezultira idejama i spoznajama o kvalitetnom poučavanju kovalentnog i ionskog vezivanja. Može se zaključiti da uz porast ZPS-a, sudjelovanje u OI-u omogućuje porast MZ-a budućih nastavnika kemije u domeni *Znanje o nastavnim strategijama i metodama u nastavi kemije* i to, ponajprije, u području *Znanja o strategijama i metodama specifičnima za nastavnu temu* (Magnusson i sur., 1999). S obzirom da iskustvo učenja i poučavanja utječe na uvjerenja budućih nastavnika o tome kako efektivno poučavati svoje učenike (Veal, 2004), pozitivno iskustvo učenja u okruženju OI-a može utjecati na razvoj njihovih orijentacija prema poučavanju kemije.

Osim MZ-a budućih nastavnika, poraslo je i MZ nastavnika metodike nastave kemije i to u području znanja o studentskom razumijevanju konceptata kemijskog vezivanja i znanja o nastavnim strategijama i metodama u nastavi metodike nastave kemije. Naime, zahvaljujući OI-u nastavnik je stekao uvid u znanje svojih studenata te primijenio OI kao metodu za stjecanje i/ili rekonstrukciju znanja. Ipak, treba primijetiti da je efikasnost OI-a mjerena netom nakon njegove provedbe. Rekonstrukcija znanja vrlo je složen i često dugotrajan proces. Štoviše, utvrđena su poimanja često otporna na promjene pa se, s protokom vremena može dogoditi da novostečene spoznaje *izblijede* ili se odbace zbog jednostavnijeg operiranja s ranije utvrđenim shemama.

Imajući to na umu, odlučeno je da se, nakon određenog vremena, provjeri ZPS budućih nastavnika kemije o kovalentnom i ionskom vezivanju. U tom je cilju još jednom proveden +TTAIB i +KViS. Kako bi se izbjegao efekt dosjećanja rezultata, instrumenti su primijenjeni na uzorcima triju generacija budućih nastavnika kemije pet mjeseci nakon završetka provedbe OI-a, odnosno 8 mjeseci nakon prvog testiranja. Utjecaj nezavisne varijable, OI-a, na ZPS o kovalentnoj vezi i ionskom vezivanju utvrđeni su usporedbom rezultata početnog i završnog testiranja +TTAIB-om i +KViS-om, odnosno njihovom usporedbom s kvantitativnim rezultatima OI-a. Važno se podsjetiti da je na kraju svakog OI-a od sudionika je tražena procjena valjanosti razmatrane tvrdnje iz +TTAIB-a i + KViS-a.

Da bi se odredila statistička značajnost rezultata, jednostavnom su linearnom kombinacijom formirane nove varijable za +TTAIB i +KViS. Za utvrđivanje razlika u prosječnom broju točnih odgovora prije i nakon intervencije upotrijebljen je t-test za zavisne uzorke.

Radi preglednosti i detaljnijeg uvida u rezultate, postotci točno prosuđenih tvrdnji budućih nastavnika kemije prikazani su u tablici 48 (rezultati ZPS-a o ionskom vezivanju) i tablici 49 (rezultati ZPS-a o kovalentnoj vezi i strukturama).

Tablica 47. Broj i postotak budućih nastavnika kemije koji su točno prosudili ispravnost tvrdnji +TTAIB-a tijekom prvog testiranja (+TTAIB 1), odmah nakon OI-a (OI) i tijekom drugog testiranja (+TTAIB 2).

		+ TTAIB 1		OI		+TTAIB 2	
		N	%	N	%	N	%
1.	Pozitivno nabijeni ion će biti privučen bilo kojem negativno nabijenom ionu.	36	80,0			41	89,1
2.	Natrijev ion je vezan samo s onim ionom klora kojem je donirao elektron.	32	71,1			40	87,0
3.	Atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati.	26	57,8	38	90,5	34	73,9
4.	Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.	22	48,9	35	97,2	26	56,5
5.	Prema shemi, kloridni je ion privučen jednom ionu natrija tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima natrija povezan samo silama.	34	75,6			39	84,8
6.	Prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klorida.	34	75,6	31	96,9	36	78,3
7.	Ionskom vezom nazivamo privlačenje između pozitivnih i negativnih iona.	36	80,0	25	96,2	38	82,6
8.	Pozitivni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim negativnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.	35	77,8			42	91,3
9.	Negativni ion može biti privučen bilo kojim pozitivnom ionu.	25	55,6			32	69,6
10.	Nije moguće utvrditi gdje su uspostavljene ionske veze, osim ako znamo koji su natrijevi i kloridni ioni sudjelovali u izmjeni elektrona.	24	53,3			24	52,2
11.	Kloridni ion je vezan samo s onim ionom natrija od kojeg je primio elektron.	33	73,3			39	84,8
12.	Atom klora može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u njegovu vanjsku ljusku stane još samo jedan elektron.	30	66,7			33	71,7
13.	Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula.	37	82,2			42	91,3
14.	Negativno nabijeni ion može biti privučen samo jednom pozitivnom ionu.	40	88,9			43	93,5
15.	Razlog nastajanja veze između kloridnog i natrijevog iona je taj što su oni suprotnog naboja.	34	75,6			34	73,9
16.	Prema shemi, natrijev je ion privučen jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama.	26	57,8	14	100,0	36	78,3
17.	Pozitivno nabijeni ion može biti privučen samo jednom negativnom ionu.	38	84,4			40	87,0
18.	Ionska veza je kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popu vanjske ljuske.	21	46,7	30	88,2	30	65,2
19.	Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.	34	75,6	24	77,4	41	89,1
20.	Na shemi nema prikazanih molekula.	35	77,8			40	87,0

Najbolji su rezultati ostvareni netom nakon OI-a. Oni svjedoče o pozitivnom učinku te metode na porast ZPS-a budućih nastavnika kemije o ionskom vezivanju. Međutim, usporedba rezultata OI-a s rezultatima završnog testiranja pokazuje pad studentskih postignuća nakon vremenskog odmaka.

Budući su nastavnici kemije bolje rezultate postigli na završnom nego na početnom testiranju. Tek su dvije od 20 tvrdnji (10. i 15.) bolje procijenili prilikom prvog izlaganja +TTAIB-u. Međutim, razlika u rezultatima nije statistički značajna.

O učinku OI-a na ZPS može se suditi i prema podacima o sigurnosti studenata u vlastite procjene. Pokazalo se da su studenti sigurniji u znanje iskazano na ponovljenom testu, obradom kojeg je evidentirano 55,17 % manje nagađanja i 13,23 % veća sigurnost u ispravnost vlastitih prosudbi, u odnosu na inicijalno testiranje.

Tablica 48. Broj i postotak budućih nastavnika kemije koji su točno riješili dvoslojne zadatke iz +KViS-a tijekom prvog testiranja (+KViS 1), odmah nakon OI-a (OI) i tijekom drugog testiranja (+KViS 2). Zvezdicom "*" je označena tvrdnja koja se odnosi na dva različita koncepta

Koncept		+ KViS 1		OI		+KViS 2			
		N	%	N	%	N	%		
Polarnost veze	1.	Koji od izraza bolje prikazuje položaj zajedničkog elektronskog para u molekuli fluorovodika (HF)?		29	63,0	26	89,7	34	77,3
	3.	Koji od prikaza bolje prikazuje polarnost veze između atoma kisika i fluora?		35	76,1			27	61,4
	14.	Koji atom, u molekuli SCl_2 ima djelomično pozitivan naboj?		32	69,6			30	68,2
Polarnost molekule	6.	Koja je, među prikazanim molekulama (SiF_4 , OF_2 , BF_3), polarna?		7	15,2	23	95,8	14	31,8
	9.	Je li molekula klorova trifluorida (ClF_3), često opisivana planarnom molekulom <i>T</i> oblika, polarna ili nepolarna?		12	26,1			18	40,9
	12.*	Temeljem usporedbe tvari sastavljenih od molekula OF_2 i tvari sastavljenih od molekula CF_4 , procijeni jakost njihovih međumolekulskih sila.		24	52,2			27	61,4
Oblik molekule	2.	Kakav će oblik imati molekule koje nastanu reakcijom dušika i broma?		13	28,3			9	20,5
	5.	Koji oblik najvjerojatnije ima molekula SCl_2 ?		15	32,6	30	93,8	23	52,3
	8.	Koja od sljedećih struktura najbolje prikazuje oblik COCl_2 molekule?		8	17,4			5	11,4
	13.	Koristi li se VSEPR teorija za određivanje polarnosti ili oblika molekula?		29	63,0			41	93,2
	15.*	Koji prikaz najbolje predstavlja strukturu N_2Cl_4 ?		11	23,9	36	97,3	14	31,8
Struktura tvari	4.	Silicijev karbid ima visoko talište i vrelište. Sugeriraju li ovi podatci da su veze u silicijevom karbidu slabe ili jake?		10	21,7	34	97,1	16	36,4
	11.	Temeljem informacija zaključni svrstavamo li suhi led u molekulske ili atomske kristale.		30	65,1			32	72,7
Međumolekulske sile	7.	Je li razlika u agregacijskim stanjima vode i sumporovodika pri sobnoj temperaturi posljedica relativno jakih međumolekulskih sila između molekula vode ili između molekula sumporovodika?		12	26,1	29	96,7	18	40,9
	12.*	Temeljem usporedbe tvari sastavljenih od molekula OF_2 i tvari sastavljenih od molekula CF_4 , procijeni jakost međumolekulskih sila.		24	52,2			27	61,4
Pravilo okteta	10.	Koristi li se <i>Pravilo okteta</i> za određivanje oblika molekule ili broja veza koje atom stvara?		21	45,7			31	70,5
	15.*	Koji prikaz najbolje predstavlja strukturu N_2Cl_4 ?		11	23,9	36	97,3	14	31,8

Iako su tri zadatka (2., 3. i 8.) uspješnije riješena na početku nego na kraju istraživanja, općenito gledajući, budući su nastavnici kemije bolje rezultate postigli na završnom nego na početnom testiranju razumijevanja kovalentne veze i struktura. Statistički značajne razlike su

potvrđene kod tvrdnji 10. ($p=0,027$) i 13. ($p=0,013$). Prema Dhindsinom i Treagustovu (2009) mjerilu, samo rezultati 1., 10., 11., 13. i 14. zadataka mogu se smatrati zadovoljavajućima. Rezultati samoprocjene pokazuju pozitivan trend. Porasla je sigurnost budućih nastavnika kemije u vlastito znanje na ponovljenom testu za 14,1 %, a broj nagađanja je smanjen za 35,4 %.

Usporedba sva tri mjerenja pokazuje da su uvjerljivo najbolji rezultati postignuti odmah nakon OI-a. Međutim, slično kao i kod rezultata istraživanja o razumijevanju ionskog vezivanja, 5 mjeseci nakon provedbe OI-a, uspješnost studenata značajno opada.

Usporedbom rezultata inicijalno provedenog +KViS-a i završnog +KViS-a, utvrđen je statistički značajno bolji rezultat budućih nastavnika kemije na završnom testiranju ($t(42) = -2,368$, $ss = 42$, $p = 0,023$). Time je potvrđen utjecaj OI-a na porast ZPS-a budućih nastavnika o kovalentnoj vezi i strukturama i nakon protoka vremena. Udio točno odgovorenih pitanja na završnom je +KViS-u, u odnosu na inicijalni, porastao sa 42,46 % na 51,46 %.

Temeljem prethodno iznesenih rezultata može se zaključiti da je izlaganje OI-u i nakon vremenskog odmaka pozitivno utjecalo na ZPS budućih nastavnika o ionskom i kovalentnom vezivanju te na porast sigurnosti u vlastito znanje. Ipak, s obzirom na izostanak statističke značajnosti, utjecaj OI na dugotrajni porast ZPS-a o ionskom vezivanju, ne može se potvrditi. Zašto su pogrešne predodžbe o ionskom vezivanju postojanije od pogrešnih predodžbi o kovalentnoj vezi i strukturama, teško je odgovoriti. Jedan razlog treba tražiti u udžbenicima. Naime, njihovim je pregledom uočen veći broj pogrešnih konceptualizacija ionskog nego kovalentnog vezivanja. Osim toga, slijed poučavanja uvriježen u RH, po kojemu se prvo obrađuju kovalentne veze, a tek potom ionsko vezivanje, možebitno doprinosi razmatranju potonjeg u kontekstu modela kovalentnog vezivanja. U literaturi se mogu naći različite preporuke o slijedu poučavanja kemijskog vezivanja. Dhindsa i Treagust (2014) problematičnim vide slijed Ionsko vezivanje – kovalentna veza – polarna kovalentna veza i predlažu poučavanje baš redoslijedom koji se, u pravilu, koristi u RH: kovalentna veza - polarna kovalentna veza – ionsko vezivanje. Hurst (2002) misli da se kemijsko vezivanje, budući su sve veze elektrostatske interakcije, treba poučavati temeljem jednog, zajedničkog modela. Razmatranje različitih tipova veza, kako ih se navodi u udžbenicima, smatra pogrešnim. Nahum i sur. (2007) su predložili koherentni model prema kojemu su, s jedne strane, sve kemijske veze (uključujući i vodikovu vezu i van der Waalove interakcije) prezentirane kao interakcije između dva atoma u plinovitoj fazi, dok se, s druge strane, naglašava važnost razlikovanja tipova veza prema jakosti, energiji, usmjerenosti i drugim

značajkama. U svjetlu spoznaja stečenih ovim istraživanjem, pristup Nahuma i sur. (2007), čini se pogodnim rješenjem.

Vratimo se rezultatima završnog testiranja studentskog znanja +TTAIB-om i +KViS-om. Zabrinjava značajan pad rezultata na završnom testiranju u odnosu na rezultate dobivene netom nakon provedenog OI-a. Pojedini su studenti ponovno iskazali pogrešna poimanja, koja su se, prema rezultatima OI-a, činila rekonstruirana.

O uzrocima slabijih rezultata nakon vremenskog odmaka, može se samo pretpostavljati. Ovdje će se raspravljati samo o jednom, pretpostavlja se najvjerojatnijem razlogu opadanja ZPS-a – postojanosti pogrešnih poimanja (Duit & Treagust, 1998; Osborne & Freyeburg, 1985). Podsjetimo se, pogrešna poimanja budućih nastavnika kemije o ionskom vezivanju utvrđena su triangulacijom različitih instrumenata, metoda i istraživača. Iako rezultati OI-a u nekim situacijama pokazuju statistički značajan napredak u njihovom ispravljanju, pojedinci su do pred kraj OI-a iskazivali zbunjenost i nesigurnost. Takvo ponašanje upućuje na proces promjene, ali i indicira da rekonstrukcija znanja nije u potpunosti ostvarena. Također, moguće je da je nakon određenog vremena nebavljenja problematikom ionskog i kovalentnog vezivanja, uslijed iznenadnog podražaja (dijagnostičkim instrumentom), jednostavnije evocirati davno utvrđeno pogrešno poimanje nego ispravnu predodžbu. U tom kontekstu, zanimljivi su rezultati procjene ispravnosti 4. tvrdnje +TTAIB-a. Već je ranije utvrđeno da se izmjena elektrona između atoma u udžbenicima i nastavi neodjeljivo povezuje, pa i poistovjećuje, s ionskom vezom. Iako su nakon OI-a na tu temu gotovo svi studenti zaključili kako izmjena elektrona nije nužan uvjet ionskog vezivanja, na završnom je testiranju tek 56,5 % studenata pokazalo razumijevanje.

Mnogo je dokaza o zadržavanju postojećih pogrešnih poimanja unatoč ciljanim i pažljivo vođenim nastavnim postupcima (Driver & Oldham, 1986). Stoga rezultati završnog testiranja i nisu iznenađujući. Iako se OI o ionskom vezivanju pokazao, a OI o kovalentnom vezivanju i nakon vremenskog odmaka statistički potvrdio efikasnom metodom za rekonstrukciju znanja, rezultati završnog testiranja ukazuju na potrebu dodatnih rješenja kako bi se osigurala zadovoljavajuća retencija znanja.

ODGOVORI NA ISTRAŽIVAČKA PITANJA

ODGOVORI NA ISTRAŽIVAČKA PITANJA

U ovom dijelu disertacije dani su odgovori na istraživačka pitanja, prema cjelinama na koje se pitanja odnose.

Jezik u učenju i poučavanju kemije

1. U kojoj mjeri studenti (i) preddiplomskih studija i (ii) diplomskog studija Prirodoslovno-matematičkog fakulteta razumiju: (a) tehničke (znanstvene) riječi i simboličke prikaze koji se koriste u učenju i poučavanju kemije i (b) svakodnevne riječi koje se koriste u učenju i poučavanju kemije?

Studenti uključeni u ovo istraživanje nisu iskazali zadovoljavajuće poznavanje značenja tehničkih (znanstvenih) pojmova, simboličkih prikaza i svakodnevnih riječi koje se koriste u poučavanju i učenju kemije. Mjera studentskog razumijevanja razlikuje se od riječi do riječi i od simbola do simbola.

Pokazatelji neadekvatnog razumijevanja pronađeni su neovisno o tome je li dizajn zadatka uključivao: (i) osmišljavanje znanstveno smislene rečenice uz uporabu ključnog pojma danog bez konteksta, kao u A-dijelu prvog bloka zadataka UPZ-a, (ii) objašnjenje značenja riječi dane u kontekstualnoj rečenici, kao u B-dijelu prvog bloka zadataka UPZ-a, (iii) odabir prikladno upotrijebljenog termina u zadatku višestrukog izbora, kao u drugom bloku zadataka UPZ-a, (iv) objašnjenje značenja pojma danog bez konteksta, kao u četvrtom bloku zadataka UPZ-a ili (v) definiranje pojma, kao u TA-u.

U nastavku će, kao dio odgovora na 1. istraživačko pitanje, postotcima biti iskazani razmjeri razumijevanja odabranih (a) tehničkih (znanstvenih) riječi i simbola i (b) svakodnevnih riječi koje se koriste u poučavanju kemije, odnosno poučavanju kemijskog vezivanja.

(a) U osmišljavanju rečenica koje uključuju zadane tehničke (znanstvene) riječi, studenti su najmanje poteškoća imali s *množinom* (uspješno je 58,5 % preddiplomaca i 61,1 % diplomaca), a najviše s *težištem* (4,9 % i 6,1 % je uspješnih).

Radijus je jedini pojam razmatran u zadanom kontekstu kojeg je uspješno objasnio više od 50 % studenata. Najvećim se problemom pokazao *spin* – samo dvoje studenata zadovoljavajuće je protumačilo značenje tog pojma. Iako se radi o uvriježenim pojmovima, mali je postotak studenata ispravno objasnio značenje *formule* (17,1 % i 11,1 %) i *kristala* (45,4 % i 38,9 %) u danim kontekstima.

Između 13 tehničkih (znanstvenih) pojmova iz 4. bloka zadataka, tri je zadovoljavajuće objasnila većina studenata. To su *maseni broj* (37,8 %, 63,9 %), *valentni elektroni* (35,4 %, 66,7 %) i *interakcija* (50,0 % i 52,8 %). S ostalim su pojmovima studenti imali više poteškoća. To se posebno odnosi na *rezonanciju* (0 %, 0 %), *redukcijski potencijal* (1,2 %, 0 %), *nabojni broj* (0 %, 2,8 %), *trigonsku bipiramidu* (0 %, 2,8 %), *orbitalu* (1,2 %, 8,3 %) i *korpuskularno* (2,4 % i 8,3 %).

Dio budućih nastavnika kemije ima problema s razumijevanjem temeljnih pojmova iz područja kemijskog vezivanja, najviše s pojmom *ionski karakter veze* (81,1 %). Čak 27 %, odnosno 29,7 % studenata te populacije ne zna objasniti pojmove *kemijska veza* i *kovalentna veza*.

Općenito gledajući, studenti su uspješniji u objašnjavanju zadanih simboličkih prikaza nego pojmova iskazanih riječima. Najveći je broj studenata pokazao razumijevanje značenja simbola *manje od*, $<$ (84,1 % i 88,9 %). Značenje uvriježenih simbola μ , kg/m^3 i $A = N(p^+) + N(n^0)$ korektno je objasnilo 55 % – 70 % studenata. Ti podatci govore o umjerenom broju uspješnih, ali i o 30 % – 45 % onih koji možda neće razumjeti značenje tih pojmova kada ih upotrijebi nastavnik ili kada na njih naiđu u udžbeniku.

U većini slučajeva nije utvrđena statistički značajna razlika u razumijevanju tehničkih (znanstvenih) pojmova studenata preddiplomskih i diplomskog studija. Od sedam slučajeva u kojima je ona ipak potvrđena, šest su pojmova uspješnije objasnili diplomci. Iako su preddiplomci uglavnom manje uspješni, sigurniji su u točnost svojih prosudbi od studenata diplomskog studija.

- (b) Većina je studenata pokazala razumijevanje svakodnevnog značenja pojmova *donirati* (99 % i 100 %), *dezintegrirati* (88 % i 94 %), *ograničenje* (86 % i 92 %), *derivat* (86 % i 83 %), *elementarno* (88 % i 83 %) i *naboj* (83 % i 81 %). Međutim, evidentirani su i problemi s prepoznavanjem značenja određenih riječi iz te skupine. To se odnosi na pojmove: *karbonizacija* (41 % i 14 %), *modifikacija* (29 % i 34 %), *postotak* (27 % i 42 %) i *neutralizirati* (40 % i 42 %). Više od polovice preddiplomaca ne prepoznaje značenje riječi *interpretacija*.

U dva je slučaja utvrđena statistički značajna razlika u razumijevanju svakodnevnog značenja zadanih pojmova. Odnosi se na pojam *karbonizacija* ($\chi^2 = 7,607$, $df = 1$, $p = 0,006$), kojeg su bolje razumjeli preddiplomci, i pojam *simultano* ($\chi^2 = 6,860$, $df = 1$, $p = 0,009$), čije su značenje bolje odredili studenti diplomskog studija.

2. Kakva je percepcija studenata preddiplomskih studija i diplomskog studija o učeničkom razumijevanju tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije?

Studenti nemaju konzistentne predodžbe o učeničkom razumijevanju tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju kemije. Kao najčešći kriterij prosudbe učeničkog razumijevanja navode znanje koje su imali o tim pojmovima na početku srednjoškolskog obrazovanja, te pretpostavke što bi učenici trebali znati. Ipak, rezultati studenata diplomskog studija ukazuju da je njihovo sadašnje znanje najznačajniji čimbenik procjene. Uz prethodno, kao osnovu za procjenu učeničkog poznavanja značenja, studenti diplomskog studija uzimaju razinu apstrakcije, učestalost pojavljivanja pojma u nastavi kemije, dvojako značenje pojedinih riječi i povezanost kemijskog značenja sa svakodnevnim značenjem pojma.

3. Može li se OZO-metodom izazvati porast svijesti studenata o poteškoćama s razumijevanjem riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije?

OZO-metodom se može izazvati porast svijesti studenata o poteškoćama s razumijevanjem riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije. Uz nekoliko iznimki, nakon izlaganja UPZ-u, studenti su iskazali niža očekivanja učeničkog razumijevanja tehničkih (znanstvenih) i svakodnevnih pojmova, bez obzira u kakvom su ih tipu zadataka razmatrali. Taj je pomak pokazatelj porasta svijesti studenata o složenosti značenja i poteškoćama s razumijevanjem određenih riječi i simbola. Promjena svijesti evidentirana OZO-metodom, posljedica je izlaganja UPZ-u. Silazni trend procjene očekivanja učeničkog razumijevanja implicira djelotvornost OZO-metode. Djelotvornost potvrđuju i kvalitativni nalazi iz kojih se vidi da studenti prepoznaju utjecaj OZO-metode na porast svijesti o vlastitom znanju i vide pozitivne učinke tog efekta u budućem radu s učenicima. Porast svijesti o važnosti pridavanja pozornosti jeziku nastave kemije, pokazatelj je porasta MZ-a.

4. U kakvoj je svezi uspješnost rješavanja problema kemijskog vezivanja i razumijevanje ključnih pojmova?

Nije utvrđena čvrsta veza između poznavanja značenja pojmova *elektronegativnost*, *kemijska veza*, *kovalentna veza*, *elektronski afinitet* te *duljina veze* i uspješnosti rješavanja odgovarajućih nastavnih problema koji se temelje na tim konceptima. Statistički značajna povezanost umjerenih vrijednosti utvrđena je između varijabli koje se odnose na definiciju pojma *ionski karakter veze* i rješavanja pripadnog zadatka. Pojedini studenti jednostavnije upotrebljavaju

ključne pojmove u rješavanju problema nego što objašnjavaju njihovo značenje. Evidentiran je problem neadekvatnog razumijevanja temeljnih pojmova kemijskog vezivanja.

5. Koji se jezični problemi budućih nastavnika kemije mogu prepoznati analizom odgovora uparenog testa o kemijskom vezivanju?

Neki od budućih nastavnika kemije imaju problema s definiranjem zadanih pojmova. U njihovim se definicijama prepoznaju problemi smisla, problemi (ne)određenosti i problemi značenja. Uporaba riječi koja ima isto značenje u svakodnevnom životu i u znanosti (poput riječi *afinitet*) može doprinijeti razumijevanju značenja znanstvenog koncepta kojeg ta riječ opisuje (elektronski afinitet). Izrazu *prema povećanju*, upotrijebljenom kod nizanja molekula s obzirom na ionski karakter veze između njihovih atoma, pojedinci pridaju suprotno značenje (prema smanjenju, op. a.). Pokazalo se da nekolicina budućih nastavnika kemije ne razlikuje značenje pojmova *apscisa* i *ordinata*.

Razumijevanje modela ionskog i kovalentnog vezivanja

6. Kakvo razumijevanje koncepta kovalentne veze, u usporedbi sa znanstveno prihvaćenim modelom, pokazuju srednjoškolci, studenti i nastavnici kemije u RH?

Neadekvatno je znanje o kovalentnom vezivanju utvrđeno na svim razinama obrazovanja u RH, gdje je ta tema dio nastavnog programa. Učenici i studenti nisu pokazali zadovoljavajuće razumijevanje niti jednog koncepta iz područja kovalentne veze i struktura. Prema istom mjerilu, nastavnici su pokazali razumijevanje konceptata *polarnost veze* i *međumolekulske sile*.

Evidentirana su brojna pogrešna poimanja. Navedena su prema konceptima na koje se odnose. Polarnost veze: *Kovalentna veza je nepolarna – atomi povezani kovalentnom vezom jednako snažno privlače podijeljeni elektronski par*.

Polarnost molekule: *Nepodijeljeni elektronski parovi perifernih atoma induciraju dipol i time molekulu čine polarnom.; Molekula je polarna čim su atomi povezani polarnim vezama (prostorna građa molekule nije bitna, op. a.); Molekula je polarna samo ako je razlika u elektronegativnosti njenih atoma velika*.

Oblik molekule: *Nepodijeljeni elektronski parovi središnjeg atoma ne utječu na oblik molekule.; Savijeni, V-oblik molekule posljedica je odbijanja nepodijeljenih elektronskih parova (ne i podijeljenih, op. a.) središnjeg atoma.; Polarnost veze utječe na oblik molekule*.

Struktura tvari: *Između atoma u kristalu silicijeva karbida djeluju međumolekulske sile*.

Međumolekulske sile: *Razlika u jakosti međumolekulskih sila posljedica je razlike u jakosti kovalentnih veza.; Međumolekulske sile su sile unutar molekula.*

Pravilo okteta: *Atom dušika u molekuli može dijeliti 5 elektronskih parova.*

7. Kakvo razumijevanje koncepta ionskog vezivanja, u usporedbi s elektrostatskim modelom, iskazuju srednjoškolci, studenti i nastavnici kemije u RH?

Veliki broj sudionika ovog istraživanja nije pokazao razumijevanje elektrostatskog modela ionskog vezivanja. Utvrđena je koherentnost razmišljanja pojedinih učenika, studenata i nastavnika s pretpostavkama Taberova molekularnog okvira o ionskom vezivanju. Bez obzira o kojoj se pretpostavci tog okvira radi, pogrešna su promišljanja najzastupljenija u učeničkoj, a najmanje zastupljena u nastavničkoj populaciji. Brojnost pogrešnih poimanja raste od konceptualizacije molekula, preko *pretpostavke o "samo silama"* pa *pretpostavke o valentnosti* do *pretpostavke* molekularnog okvira *o povijesti*. Relativno veliki broj studenata i, posebno, učenika nagađanjem je odgovora pokazao nedostatak znanja.

OI

8. Je li OI učinkovita metoda za a) identifikaciju pogrešnih poimanja, b) rekonstrukciju ZPS-a i c) stjecanje MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju?

a) Je li OI učinkovita metoda za identifikaciju pogrešnih poimanja o kovalentnom i ionskom vezivanju?

OI je učinkovita metoda za identifikaciju pogrešnih poimanja budućih nastavnika kemije o ionskom i kovalentnom vezivanju.

OI-om o kovalentnom vezivanju utvrđena su sljedeća pogrešna poimanja: *Struktura molekule posljedica je odbijanja veza u molekuli.; Na oblik molekule značajno utječu nepodijeljeni elektronski parovi perifernih atoma.; Molekulski kristal čine pravilno raspoređeni atomi u nekoj molekuli. Fulleren nije makromolekula jer je sastavljen samo od atoma.; Makromolekula je sastavljena od manjih molekula – ne može biti sastavljena samo od atoma.; Silicijev karbid ne može bit kovalentni kristal jer u njemu imamo različite atome, za razliku od dijamanta za kojeg znamo da je kovalentni kristal; Voda je pri sobnoj temperaturi u tekućem, a sumporovodik u plinovitom agregacijskom stanju jer veze u molekuli sumporovodika lako pucaju, dok one u molekuli vode nisu.; Parcijalni naboj utječe na položaj zajedničkog elektronskog para.; Kovalentna veza u polarnim molekulama slabi pa je vodikova veza*

uspostavljena između atoma kisika jedne i atoma vodika druge molekule vode može razvući; Polarne su one molekule koje imaju polarne veze.

OI-om o ionskom vezivanju utvrđena su sljedeća pogrešna poimanja: *Formulska je jedinka čestica ionskog spoja; ion natrija ostvaruje jednu ionsku vezu, a ostalo su interakcije; Ioni natrija i klor se pojavljuju u parovima; Ionska veza se može gledati kao prijenos elektrona; Ionska veza nastaje zbog prijenosa elektrona; Veza nastaje zbog težnje da se zadovolji pravilo okteta; Interakcija je slaba veza; Prijenos elektrona je ključan za kovalentnu vezu; Veza ima fizički karakter.*

b) Je li OI učinkovita metoda za rekonstrukciju znanja o kovalentnom i ionskom vezivanju?

OI je učinkovita metoda za rekonstrukciju znanja o kovalentnom i ionskom vezivanju.

Takav zaključak indiciraju kvantitativni podatci prikupljeni netom nakon provedbe OI-a. Također, rezultati +TTAIB-a i +KViS-a provedenih nakon vremenskog odmaka pokazuju pozitivan utjecaj OI-a na ZPS budućih nastavnika o ionskom i kovalentnom vezivanju i na porast sigurnosti u vlastito znanje. Ipak, s obzirom na izostanak statističke značajnosti, utjecaj OI-a na dugotrajni porast ZPS-a o ionskom vezivanju, nije potvrđen.

O pozitivnim učincima OI-a izrijeком svjedoče budućí nastavnici kemije opisujući kognitivnu i emocionalnu aktivaciju te rekonstrukciju znanja uzrokovanu sudjelovanjem u provedbi te metode.

Također, pozitivni su učinci OI-a na proces rekonstrukcije znanja potvrđeni novostečenim spoznajama budućih nastavnika kemije.

Izdvojene su najučestalije, relevantne za konceptualizaciju kovalentnog vezivanja: *Struktura didušikova tetraklorida je posljedica odbijanja četiriju elektronskih parova, uključujući zajedničke i nepodijeljene; Nepodijeljeni elektronski parovi na vanjskim atomima ne utječu na oblik molekule; Molekulski su kristali građeni od molekula povezanih međumolekulskim vezama; Kovalentni kristal silicijeva karbida možemo smatrati makromolekulom; Atomski kristali mogu biti građeni od različitih atoma; Sve veze u kristalu silicijeva karbida su jednake – riječ je o kovalentnom kristalu; Međumolekulske sile između molekula vode jače su od međumolekulskih sila između molekula sumporovodika, stoga je voda u tekućem agregacijskom stanju pri sobnoj temperaturi, a sumporovodik u plinovitom; Nema bitnog rastezanja veza uslijed povezivanja molekula vodikovim mostovima; Parcijalni naboj je posljedica položaja zajedničkog elektronskog para (odnosno neravnomjerne gustoće elektronskog oblaka, op. a.); Nepodijeljeni elektronski parovi središnjeg atoma utječu na*

prostornu građu molekule, a time i na njenu (ne)polarnost; Polarnost molekule ovisi o polarnosti veza i obliku molekule.

Najčešće evidentirane novostečene spoznaje, relevantne za konceptualizaciju ionskog vezivanja su: *Ne postoje molekule natrijeva klorida; Ionska veza je elektrostatska interakcija; Ionska veza nastaje zbog privlačenja suprotno nabijenih iona; Prijenos elektrona nije preduvjet nastajanja ionske veze; Ioni u kristalu ostvaruju jednake interakcije sa svim susjednim, suprotno nabijenim ionima; Formulska jedinka nije čestica ionskog spoja.*

Zahvaljujući specifičnoj strukturi, OI omogućuje prepoznavanje pojmova koji budućim nastavnicima kemije mogu predstavljati prepreku u konceptualnom razumijevanju modela kovalentnog i ionskog vezivanja.

Pojmovi *kemijska veza, interakcija i elektronegativnost* označeni su posebno važnima (prekursorima) za razumijevanje koncepata iz područja kovalentnog vezivanja. Pojmovi *formulska jedinka, veza odnosno ionska veza i interakcija odnosno elektrostatska interakcija, privlačenje i Coulombove sile* označeni su prekursorima razumijevanja koncepta ionskog vezivanja.

c) Je li OI učinkovita metoda za stjecanje MZ-a o kovalentnom i ionskom vezivanju?

OI je učinkovita metoda za stjecanje MZ-a budućih nastavnika kemije o kovalentnom i ionskom vezivanju.

Utvrđeno je da OI omogućuje porast odnosno rekonstrukciju ZPS-a te sustavno promišljanje o nastavnim pristupima, metodičkoj valjanosti nastavnih sredstava i logici povezivanja kognitivnih shema. Posljednje navedeni efekt posljedica je kritičnih događaja – ključnih čimbenika konceptualnih promjena. Kritični su događaji prepoznati dijelom MZ-a o kemijskom vezivanju. Zabilježeni su, uglavnom, u formi pitanja.

Pokazatelji porasta MZ-a budućih nastavnika kemije, konkretni su prijedlozi grafičkih prikaza, objašnjenja, primjera i analogija, razmatranih tijekom provedbe OI-a u kontekstu poučavanja kemijskog vezivanja u školi.

Evidentirane nove spoznaje budućih nastavnika kemije o značenju pojedinih znanstvenih, ali i svakodnevnih termina u kemijskom kontekstu, poput termina *podijeljeni, vezni i zajednički elektronski par, formulska jedinka* ili riječi *dijeliti*, također su pokazatelji porasta MZ-a.

U svojim iskazima budući nastavnici kemije izravno dovode u vezu iskustvo sudjelovanja u OI-u i porast svijesti o potrebi i mogućoj uporabi OI-a za utvrđivanje i rekonstrukciju znanja svojih budućih učenika.

Osim MZ-a budućih nastavnika kemije, provedba OI-a je utjecala na porast MZ-a autora ove disertacije i to u području znanja o razumijevanju svojih studenata i znanja o nastavnim metodama i strategijama.

ZAKLJUČAK

ZAKLJUČAK

Ovim su istraživanjem utvrđene poteškoće studenata s razumijevanjem riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije, zatim pogrešna poimanja učenika, studenata i nastavnika kemije o kovalentnom i ionskom vezivanju, te su istraženi potencijali OZO-metode i metode OI-a. U nastavku će biti sažeto iznijeti najznačajniji zaključci.

Studenti uključeni u ovo istraživanje nisu pokazali zadovoljavajuće znanje o značenju tehničkih (znanstvenih) pojmova, simboličkih prikaza i svakodnevnih riječi koje se koriste u poučavanju i učenju kemijskog vezivanja, odnosno kemije općenito. Udio takvih studenata varira od pojma do pojma. Pokazatelji neadekvatnog razumijevanja pronađeni su neovisno o tome je li dizajn zadatka uključivao: (i) osmišljavanje znanstveno smislene rečenice uz uporabu ključnog pojma danog bez konteksta, objašnjenje značenja riječi dane u kontekstualnoj rečenici, (iii) odabir prikladno upotrijebljenog termina u zadatku višestrukog izbora, (iv) objašnjenje značenja pojma danog bez konteksta ili (v) definiranje tehničkog (znanstvenog) pojma. Uočeni jezični problemi budućih nastavnika kemije doprinose su porastu MZ-a njihovih nastavnika u području znanja o razumijevanju svojih studenata.

Percepcija studenata diplomskog i preddiplomskih studija o učeničkom razumijevanju zadanih riječi i simbola koji se koriste u nastavi kemije, odnosno u nastavi o kemijskom vezivanju, nije konzistentna. Bez obzira jesu li se propitivala očekivanja studenata o učeničkom poznavanju značenja tehničkih (znanstvenih) ili svakodnevnih pojmova, simbola ili izraza, riječi u kontekstu ili bez konteksta, u najvećem broju slučajeva, studenti su nakon izlaganja UPZ-u i nakon sudjelovanja u raspravi o njihovom značenju, snižavali svoju procjenu. Takav rezultat upućuje na porast svijesti studenata o složenosti značenja i poteškoćama s razumijevanjem određenih riječi i simbola. Promjena svijesti posljedica je izlaganja OZO(RO)-metodi i pokazatelj njezine djelotvornosti. Svijest o edukacijskim potencijalima takvog alata doprinosi je MZ-u u području znanja o nastavnim metodama i strategijama.

Iako sudionici ovog dijela istraživanja vlastito znanje ne smatraju kriterijem procjene učeničkog znanja, prikupljeni podatci pokazuju suprotno. Iskustvo promišljanja o značenju pojmova, stečeno tijekom popunjavanja upitnika o jeziku, budući nastavnici kemije smatraju korisnim za budući rad s učenicima. Ta činjenica, uz spoznaju da pojedini tehnički (znanstveni) i svakodnevni pojmovi studentima, pa onda i učenicima, mogu biti *problematični*, doprinosi MZ-u budućih nastavnika kemije.

Uparenim testom nije utvrđena veza između poznavanja značenja pojmova *elektronegativnost*, *kemijska veza*, *kovalentna veza*, *elektronski afinitet* te *ionska veza* i uspješnosti rješavanja

odabranih nastavnih problema koji se temelje na tim konceptima. Ispitanici su uglavnom imali više poteškoća s definiranjem i objašnjavanjem pojmova nego s rješavanjem složenijih zadataka. Rezultati ukazuju na potrebu restrukturiranja znanja o kemijskom vezivanju budućih nastavnika kemije. U tom procesu pozornost treba posvetiti problemima smisla, neodređenosti i značenja definicija. Važno je voditi računa o pažljivoj uporabi znanstvenog i simboličkog jezika te svakodnevnih termina, bez obzira imaju li u znanosti i svakodnevnom okruženju jednako ili različito značenje. Uočeni i opisani problemi nerazumijevanja i neadekvatnog definiranja pojmova *elektronegativnost*, *kemijska veza*, *kovalentna veza*, *elektronski afinitet*, *ionski karakter veze* i *ionska veza* te prepoznate jezične prepreke doprinose su MZ-u o kemijskom vezivanju.

U svim grupama sudionika obrazovnog sustava u RH utvrđeno je neadekvatno znanje o kemijskim konceptima iz područja kovalentnih veza i struktura. Učenici i studenti nisu pokazali zadovoljavajuće razumijevanje niti jednog koncepta iz tog područja, dok su nastavnici demonstrirali razumijevanje koncepta *polarnost veze* i *međumolekulske sile*. Rezultati ovog istraživanja mogu pomoći sadašnjim i budućim nastavnicima kemije u spoznavanju konkretnih pogrešnih poimanja učenika i studenata o kovalentnoj vezi i strukturama, te oblikovanju nastave kojom će se takvi problemi pokušati izbjeći ili riješiti.

Slično kao i u slučaju rezultata razumijevanja kovalentnog vezivanja, veliki broj učenika, studenata, pa i nastavnika, nije pokazao razumijevanje elektrostatskog modela ionskog vezivanja. Utvrđena je koherentnost razmišljanja pojedinih učenika, studenata i nastavnika s pretpostavkama Taberova molekularnog okvira o ionskom vezivanju. Alternativne su predodžbe najzastupljenije u području *pretpostavke o povijesti*. Uzroci nerazumijevanja pronađeni su u nastavničkoj populaciji i udžbeničkim sadržajima.

OI se pokazao učinkovitom metodom za (a) identifikaciju pogrešnih poimanja budućih nastavnika kemije o ionskom i kovalentnom vezivanju, (b) rekonstrukciju znanja o kovalentnom i ionskom vezivanju i (c) stjecanje MZ-a budućih nastavnika kemije o kovalentnom i ionskom vezivanju. Iako su sudionici OI doživjeli efikasnom metodom za rekonstrukciju znanja, kvantitativnom je analizom utvrđena nestabilnost rekonstruiranog znanja dijela budućih nastavnika kemije o kemijskom vezivanju, posebice ionskom, odnosno njegovo slabljenje tijekom vremena. Tijekom provedbe OI-a prepoznati su posebno bitni pojmovi za razumijevanje koncepta kemijskog vezivanja. To su *kemijska veza*, *interakcija i elektronegativnost*, iz područja kovalentnog vezivanja, te *formulska jedinka*, *ionska veza*, *elektrostatska interakcija*, *privlačenje* i *Coulombove sile*, iz područja ionskog vezivanja.

Sve spoznaje stečene ovim istraživanjem izravno ili neizravno doprinose ili mogu doprinijeti porastu MZ-a o kemijskom vezivanju i MZ-a o jeziku nastave kemije.

LITERATURA

LITERATURA

- Abell, S. K. (2007). Research in science teacher knowledge. In S. Abell, & N. Lederman (Eds.): *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 1105- 1149.
- Abell, S. K. (2008). Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30, 1405-1416.
- Anić, V. (1991). *Rječnik hrvatskog jezika*. Novi Liber, Zagreb.
- Anić, Š., Klaić, N. & Domović, Ž. (2002). *Rječnik stranih riječi*. Sani-plus, Zagreb.
- Appleton, K. (2002). Science activities that work: Perceptions of primary school teachers. *Research in Science Education*, 32, 393–410.
- Barke, H-D., Hazzari, A. & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry – Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- Barker V. (1995). *A longitudinal study of 16-18 year olds' understanding of basic chemical ideas*. Doktorska disertacija. Department of Educational Studies, University of York.
- Barker, V. (2000). *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas*. A report prepared for the Royal Society of Chemistry, London: Education Division, Royal Society of Chemistry.
- Barker, V. & Millar, R. (2000). Students' reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Science Education*, 22(11), 1171-1200.
- Barnett, J., & Hodson, D. (2001). Pedagogical context knowledge: Toward a fuller understanding of what good science teachers know. *Science Education*, 85, 426–453.
- Beek, K. V. & Louters, L. (1991). Chemical language skills, investigating the deficit. *Journal of Chemical Education*, 68(5), 389-392.
- Bektas, O., Ekiz, B., Tuysuz, M., Kutucu, E. S., Tarkin, A. & Uzuntiryaki-Kondakci, E. (2013). Pre-service chemistry teachers' pedagogical content knowledge of the nature of science in the particle nature of matter. *Chemical Education Research and Practice*, 14, 201-213.

- Bent, H.A. (1984). Uses (and abuses) of models in teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 61(9), 774-777.
- Ben-Zvi R., Eylon B. & Silberstein J. (1988). Theories, principles and laws. *Education in Chemistry*, 25(3), 89-92.
- Bergquist, A. (2012). *Models of Chemical Bonding - Representations Used in School Textbooks and by Teachers and their Relation to Students' Difficulties in Understanding*. Licentiate thesis, Karlstad University Studies.
- Birk J. P. & Kurtz M. J. (1999). Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding. *Journal of Chemical Education*, 76 (1), 124-128.
- Boo H. (1998). Students understanding of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), 569-581.
- Bradley, D. & Steenberg, E. (2008). Symbolic Language in Chemistry – A New Look at an Old Problem. *Chemical Education International*, 8 (1), 1-29.
- Brown, B. A. (2011). Isn't that just good teaching? Disaggregate instruction and the language identity dilemma. *Journal of Science Teacher Education*, 22, 679-704.
- Brown, B. A., Ryoo, K. & Rodriguez, J. (2010). Pathway towards fluency: using 'disaggregate instruction' to promote science literacy. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1465–1493.
- Brown, B. & Spang, E. (2008). Double talk: Synthesizing everyday and science language in the classroom. *Science Education*, 92, 708-732.
- Bryman, A. (2006). Integrating quantitative and qualitative research: how is it done? *Qualitative Research*, 6 (1) 97-113. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Bucat, R. (2004). Pedagogical content knowledge as a way forward: applied research in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 215 – 228.
- Bucat, B. & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. In J. K. Gilbert & D. Treagust (Eds.): *Multiple representations in chemical education*. Dordrecht: Springer, pp. 11–29.
- Bucat, B. (2014). The Power of Language to Create Mental Pictures Good and Bad. *Chemistry International*, 36, 9-14.

- Bunch, G. C. (2013). Pedagogical language knowledge preparing mainstream teachers for English learners in the new standards era. *Review Research in Education*, 37(1), 298-341.
- Butts B. & Smith R. (1987). HSC Chemistry Students' Understanding of the Structure and Properties of Molecular and Ionic Compounds. *Research in Science Education*, 17, 192-201.
- Carlsen, W. S. (2007). Language and science learning. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.): *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 57-74.
- Cassels, J. R. T. & Johnstone, A. H. (1980). *The understanding of non-technical words in science*. London: Royal Society of Chemistry.
- Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 293-307.
- Childs P. E., Markic S. & Ryan M. (2015). The role of language in the teaching and learning of Chemistry. In Garcia-Martinez J. & SerranoTorregrosa E. (Eds.): *Chemistry Education: Best Practice, Innovative Strategies and New Technologies*. Weinheim: Wiley-VCH, pp. 421-446.
- Cheng, M. & Gilbert, J. (2009). Towards a better utilization of diagrams in research into the use of representative levels in chemical education. In J. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.): *Multiple Representations in Chemical Education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp. 55-73.
- Clerk, D. & Rutherford, M. (2000). Language as a confounding variable in the diagnosis of misconceptions. *International Journal of Science Education*, 22(7), 703-717.
- Cochran, K. R. Deruiter, J. A. & King, R. A. (1993). Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44, 263-270.
- Cochran, K. F. (1997). Pedagogical Content Knowledge: Teachers' Integration of Subject Matter, Pedagogy, Students, and Learning Environments. *Research Matters - to the Science Teacher*. <https://www.narst.org/publications/research/pck.cfm>. Pristupljeno 25. 2. 2014.
- Coll, R. K. & Taylor, N. (2002). Mental models in chemistry: Senior chemistry students' mental models of chemical bonding. *Chemistry education Research and Practice*, 3(2), 175-184.

- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2001). Learners' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31, 357-382.
- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2003a). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 464-86.
- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2003b). Learners' mental models of metallic bonding: A cross-age study. *Science Education* 87(5), 685 - 707.
- Committee on Undergraduate Science Education (U.S.). (1997). *Science teaching reconsidered: A handbook*. Washington, D.C: National Academy Press.
- Creswell, J.W. (2003). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (2nd ed.). Thousand Oaks: Sage.
- Creswell, J. W. & Clark, V. L. P. (2011). *Designing and conducting mixed methods research* (2nd ed.). Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc.
- De Jong, O., Acampo, J. & Verdonk, A. (1995). Problems in teaching the topic of redox reactions: Actions and conceptions of chemistry teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 1097-1110.
- De Jong, O., Ahtee, M., Goodwin, A., Hatzinikita, V. & Koulaidis, V. (1999). An International Study of Prospective Teachers' Initial Teaching Conceptions and Concerns: The case of teaching 'combustion'. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 45 – 57.
- De Jong, O. (2000). The Teacher Trainer as Researcher: exploring the initial pedagogical content concerns of prospective science teachers. *European Journal of Teacher Education*, 23 (2), 127 – 137.
- De Jong, O. & van Driel, J. (2004). Exploring the development of student teachers' PCK of the multiple meanings of chemistry topics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 477–491.
- De Jong, O., van Driel, J. & Verloop, N. (2005). Preservice teachers' pedagogical content knowledge of using particle models in teaching chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 947-964.

- Dhindsa, H. S. & Treagust, D. F. (2009). Conceptual understanding of Brunenian tertiary students: Chemical bonding and structure. *Brunei International Journal of Science and Mathematics Education*, 1(1), 33-51.
- Dhindsa, H. S. & Treagust, D. F. (2014). Prospective pedagogy for teaching chemical bonding for smart and sustainable learning. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 435 - 446.
- Dorion, K. (2011). A learner's tactic: How secondary students' anthropomorphic language may support learning of abstract science concepts. *Electronic Journal of Science Education*, 12(2). <http://ejse.southwestern.edu>. Pristupljeno, 23. 8. 2013.
- Driver, R. & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.
- Duit, R. & Treagust, D. (1998). Learning in science: From behaviorism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. J. Tobin (Eds.), *International handbook of science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Farrell, M. & Ventura, F. (1998). Words and understanding in Physics, *Language and Education*, 12(4), 243-54.
- Fensham, P. (1975). Concept formation. In Daniels, D.J. (ed.), *New movements in the study and teaching of chemistry*, pp.199-217. London: Temple Smith.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76, 548-554.
- Gardner, P. L. (1972). Words in Science. *Australian Science Education Project*, Melbourne.
- Garritz, A., Irazoque1, G. & Izquierdo, M. (2012). Chemistry teachers Pedagogical Content Knowledge on Chemical Equilibrium. *Edulearn 12, Proceedings, 4th International Conference on Education and New Learning Technologies*, Barcelona, Španjolska.
- Geddis, A.N., Onslow, D., Beynon, C. & Oesch, J. (1993). Transforming content knowledge: Learning to teach isotopes. *Science Education*, 77(6), 575-591.

- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer Academic.
- Gilbert, J. K. (1977). The study of student misunderstandings in the physical sciences. *Research in Science Education*, 7, 165-171.
- Gómez P. J. S. & Martín F. (2003). Quantum versus 'classical' chemistry in university chemistry education: A case study of the role of history in thinking the curriculum. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(2), 131-148.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Habuš A., Tomašić. V. & Liber S. (2015). *Opća kemija 1*. Udžbenik kemije za prvi razred gimnazije. 2. izdanje, Profil Klett, Zagreb.
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Herron, J. D. (1996). *The chemistry classroom: Formulas for successful teaching*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Hilton, A. & Nichols, K. (2011). Representational Classroom Practices that Contribute to Students' Conceptual and Representational Understanding of Chemical Bonding. *International Journal of Science Education*, 33(16), 2215-2246.
- Hurst, O. (2002). How we teach molecular structure to freshmen. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 763 – 764.
- Jasien, P. G. (2010). You said "neutral", but what do you mean? *Journal of Chemical Education*, 87(1), 33-34.
- Jasien, P. G. (2011). What do you mean that "strong" doesn't mean "powerful"? *Journal of Chemical Education*, 88, 1247-1249.
- Johnstone A. H. (1982). Macro - and microchemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A. H., (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom like they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Johnstone A.H. (2000). Teaching of Chemistry-Logical or Psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9-15.

- Johnstone, A. H. & Selepeng, D. (2001). A language problem revisited. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(1), 19-29.
- Jokić, B. (2013). *Science and Religion in Croatian Elementary Education: Pupils' Attitudes and Perspectives*. Institut za društvena istraživanja u Zagrebu, Zagreb.
- Kamen, M. (1996). A teacher's implementation of authentic assessment in an elementary science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(8), 859–877.
- Keeler J. & Wothers P. (2008). *Chemical Structure and Reactivity: an integrated approach*. Oxford University Press, New York.
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: potential and perspectives for progress. *Studies in science education*, 45 (2), 169-204.
- Kind, V. (2013). Pre-service science teachers' pedagogical content knowledge and subject matter knowledge for teaching aspects of science Oral presentation. *European Science Education Research Association Conference*, Nicosia, Cyprus.
- Kind V. (2014). A degree is not enough: a quantitative study of aspects of pre-service science teachers' chemistry content knowledge. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1313-1345.
- Kumpha, P., Suwannoi, P. & Treagust, D. (2014). Thai Grade 10 Students Conceptual Understanding of Chemical Bonding. *Procedia – Social ND Behavioral Sciences*, 143, 657-662.
- Laszlo, P. (2002). Describing reactivity with structural formulas, or when push comes to shove. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(2), 113-118.
- Lemke, J. L. (1998a). Multiplying Meaning: Visual and Verbal Semiotics in Scientific Text. In J.R. Martin & R. Veel (Eds.): *Reading Science*. London: Routledge, pp. 87-113.
- Lemke, J. L. (1998b). *Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images and Actions*. <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>.
Pristupljeno 2.4.2015.
- Loughran, J., Mulhall, P. & Berry, A. (2008). Exploring Pedagogical Content Knowledge in Science Teacher Education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1301–1320.

- Louisa, M., Veiga, F. C. S., Costa Pereira, D. J. V. & Maskill, R. (1989). Teachers' language and pupils' ideas in science lessons: can teachers avoid reinforcing wrong ideas? *International Journal of Science Education*, 11(4), 465-479.
- Lynch, P. P., Benjamin, P., Chapman, T., Holmes, R., McCammon, R., Smith, A. & Symmons, R. (1979). Scientific language and the high school pupil. *Journal of Research in Science Teaching*, 16(4), 351-7.
- Mackenzie, N. & Knipe, S. (2006). Research dilemmas: Paradigms, methods and methodology. *Issues In Educational Research*, 16(2), 193-205. <http://www.iier.org.au/iier16/mackenzie.html>. Pristupljeno, 29. 6. 2014.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education*. MA: Kluwer, Boston, pp. 95–132.
- Marais, P. & Jordaan, F. (2000). Are we taking symbolic language for granted? *Journal of Chemical Education*, 77(10), 1355 – 1357.
- Markic, S. (2016, kolovoz). Chemistry Teachers' Pedagogical Scientific Language Knowledge, u S. Markic (predsjedavajuća), Language and Chemistry Teaching and Learning. Simpozij održan na skupu European Conference on Research in Chemical Education, Barcelona.
- Markic, S. (2017). Science learner's PCK about teaching and learning of scientific language in science classes. https://www.esera.org/media/eBook_2013/strand%2012/ESERA_PCK_-_paper_-_19012014.pdf. Pristupljeno 11.1.2017.
- Marshall, S., Gilmour, M. & Lewis, D. (1991). Words that matter in science and technology. *Research in Science and Technological education*, 9(1), 5 – 16.
- McNaught A.D. & Wilkinson A. (1997). Compendium of Chemical Terminology: IUPAC Recommendations, Blackwell Science, <http://goldbook.iupac.org/>. Pristupljeno 24.8.2015.
- Meyerson, M., Ford, M., Jones, W. & Ward, M. (1991). Science vocabulary knowledge of third and fifth grade students. *Science Education*, 75(4), 419 – 28.
- Morine-Dershimer, G. & Kent, T. (1999). The complex nature and sources of teachers' pedagogical knowledge. In J. Gess-Newsome & N. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 21-50). Dordrecht: Kluwer Academic.

- Morse, J. M. (1991). Approaches to qualitative-quantitative methodological triangulation. *Nursing Research*, 40, 120-123.
- Morse, J. M. (2003). Principles of mixed methods and multimethod research design. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social & behavioral research*. Thousand Oaks, CA: Sage, pp. 189-208.
- Nahum, T. L., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A. & Krajcik, J. (2007). Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. *Science Education*, 91, 579–603.
- Nakhleh M. B. (1992). Why Some Students Don't Learn Chemistry: Chemical Misconceptions, *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191-196.
- Nargund-Joshi, V. & Liu, X. (2013). Understanding In-service Teachers' Orientation towards Interdisciplinary Science Inquiry. Rad prezentiran na godišnjoj konferenciji Nacionalne udruge za istraživanja u nastavi prirodoslovlja, Rio Grande, Puerto Rico.
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
- Nilsson, P. (2008). Teaching for Understanding: The complex nature of pedagogical content knowledge in pre-service education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1281-1299.
- Osborne, R. & Freyberg, P. (1985). Learning science: The implications of children's science. Auckland, New Zealand: Heinmann.
- Özmen, H. (2004). Some Student Misconceptions in Chemistry: A Literature Review of Chemical Bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 147–159.
- Pabuçcu, A. & Geban, O. (2012). Students' Conceptual Level of Understanding on Chemical Bonding. *International Online Journal of Educational Sciences*, 4 (3), 563-580.
- Pazicni, S. & Bauer, C. F. (2014). Characterizing illusions of competence in introductory chemistry students. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 24-34.
- Peterson, R.F. (1986). The development, validation and application of a diagnostic test measuring Year 11 and 12 students' understanding of covalent bonding and structure. Neobjavljeni magistarski rad, Curtin University of Technology, Western Australia.

- Peterson, R. F. & Treagust, D. F. (1989). Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 459–460.
- Peterson, R. & Treagust, D. (1995). Developing Pre-service Teachers Pedagogical Reasoning Ability. *Research in Science Education*, 25(3), 291 - 305.
- Peterson, R. F., Treagust, D. F. & Garnett, P. J. (1989). Development and application of a diagnostic concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, (4), 301-314.
- Pickersgill, S. & Lock, R. (1991). Student understanding of selected non-technical words in science. *Research in Science and Technological education*, 9(1), 71 – 9.
- Pines, A. L. & West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources of knowledge framework. *Science Education*, 70, 583–604.
- Pinnegar, S. E. (1989). Teacher's knowledge of students and classrooms. Dissertation Abstracts International, 51(01), 0142A (UMI no. 9014676).
- Postman, N. & Weingartner, C. (1971). *Teaching as a Subversive Activity*. London: Penguin/Pitman Publishing.
- Pyburn, D. T., Pazicni, S., Victor, A., Benassi, V. A. & Tappin, E. E. (2013). Assessing the relation between language comprehension and performance in general chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 524-541.
- Rompayom, P., Tambunchong, C., Wongyounoi, S. & Dechsri, P. (2011). Using Open-Ended Questions to Diagnose Student's Understanding of Inter-and Intramolecular Forces. *US China Education Review B*, 1, 12-23.
- Sadler, P. M., Schneps, M. H. & Woll, S. (1987). *A private universe*. Santa Monica, CA: Pyramid Film and Video.
- Seidman, I. (2006). *Interviewing as Qualitative Research: A Guide for Researchers in Education and Social Sciences*. New York: Teachers College Press.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57, 1–22.

- Smith, D. & Neale, D. (1989). The construction of subject matter knowledge in primary science teaching. *Teaching and Teacher Education*, 5(1), 1–20.
- Snow, C. E. (2010). Academic language and the challenge of reading for learning about science. *Science*, 328(23), 450-452.
- Song, Y. & Carheden, S. (2014). Dual meaning vocabulary (DMV) words in learning chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(2), 128-141.
- Stieff, M., Ryu, M. & Yip, J. C. (2013). Speaking across levels – generating and addressing levels confusion in discourse. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 376-389.
- Strübe, M., Tröger, H., Tepner, O. & Sumfleth, E. (2014). Development of a Pedagogical Content Knowledge test of chemistry language and models. *Educación Química*, 25(3), 380–390.
- Taber, K. S. (1994). Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, 31(4), 100 – 103.
- Taber, K. S. (1997). Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic thinking? *School Science Review*, 78(285), 85-95.
- Taber, K. S. (1998). An alternative conceptual framework from chemistry education. *International Journal of Science Education*, 20(5), 597-608.
- Taber, K. S. (2000a). Challenging Chemical Misconceptions in the Classroom? Rad prezentiran na godišnjoj konferenciji British Educational Research Association, Cardiff University, Rujan 7-10. <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00001525.htm>. Pristupljeno 23.11.2015.
- Taber, K.S. (2000b). Multiple frameworks? Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International Journal of Science Education*, 22(4), 399-417.
- Taber, K. S. (2001a). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemical Education Research and Practice*, 2 (2), 123-158.
- Taber, K.S. (2001b). Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 23 (7), 731-753.
- Taber, K.S. (2002a). *Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure: Theoretical background* (Vol. I). Royal Society of Chemistry, London.

Taber, K.S. (2002b). Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure: Classroom resources (Vol. II). Royal Society of Chemistry, London.

Taber K. S. (2009a). Challenging Misconceptions in the Chemistry Classroom: Resources to Support Teachers, *Educació Química EduQ*, 4, 13-20., <http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000087/00000043.pdf>. Pristupljeno 18.8.2015.

Taber, K. S. (2009b). Learning at the Symbolic Level. In Gilbert, J. K. & Treagust, D. (Eds): *Multiple Representations in Chemical Education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp. 75-105.

Taber, K. S. (Ed.). (2012). *Teaching Secondary Chemistry*. 2. izdanje. Hodder Education, London.

Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 156 – 168.

Taber, K.S. (2015). Exploring the language(s) of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 16, 193-197.

Taber, K. S. & Coll, R. (2002). Chemical Bonding. In J. K. Gilbert i sur., (Ed.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 213-234.

Taber, K. S., Tsaparlis, G. & Nakiboğlu, C. (2012). Student Conceptions of Ionic Bonding: Patterns of thinking across three European contexts. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2843-2873.

Taber, K. S. & Watts, M. (1996). The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding. *International Journal of Science Education*, 18 (5), 557-568.

Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.

Tan, K. C. D. & Treagust, D. F. (1999). Evaluating students' understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81 (294), 75–83.

Taskin, V. & Bernholt, S. (2014). Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 36(1), 157-185.

- Teddlie, C. & Tashakkori, A. (2003). Major issues and controversies in the use of mixed methods in the social and behavioural sciences. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social behavioural research*. Thousand Oaks, California: Sage Publications, Inc., pp. 3-50.
- Treagust, D. F., Duit, R., Josline, P. & Lindauer, I. (1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), 413-422.
- Ünal, S., Coştu, B. & Ayas, A. (2010). Secondary School Students' Misconceptions of Covalent Bonding. *Journal of Turkish Science Education*, 7(2), 3-29.
- Van Driel, J., de Jong, O. & Verloop, N. (2002). The Development of Pre-service Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Science Teacher Educations*, 6, 572 – 590.
- Van Driel, J., Verloop, N. & de Vos, W. (1998). Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- Veal, W. R. & Makinster, J. (1999). Pedagogical content knowledge taxonomies. *Electronic Journal of Science Education*. www.unr.edu/homepage/crowther/ejse/vealmak.html Pristupljeno, 23.2.2014.
- Veal, W. R. (2004). Beliefs and knowledge in chemistry teacher development. *International Journal of Science Education*, 26(3), 329-351.
- Ver Beek, K. & Louters, L. (1991). Chemical language skills. *Journal of Chemical Education*, 68(5), 389 – 394.
- Wellington, J. J. (1983). A Taxonomy of Scientific Words. *School Science Review*, 767-773.
- Wellington, J. & Osborne J. (2001). *Language and literacy in science education*. Open University Press, Buckingham – Philadelphia.
- Vladušić, R. i Ožić, M. (2016). Pre-service teachers' understandings of symbolic representations used in chemistry instruction. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 244 – 251.
- Vladušić, R., Bucat, B. R. i Ožić, M. (2016a). Understanding ionic bonding – a scan across the Croatian education system. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 685-699.

Vladušić, R., Bucat, B. R. i Ožić, M. (2016b). Understanding of words and symbols by chemistry university students in Croatia. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 474-488.

Yong, B. C. S. (2003). Language problems in the learning of biology through the medium of English. *Journal of Applied Research in Education*, 7(1), 97-104.

Zipf, R. & Harrison, A. (2003). *The terrarium unit: A challenge to teachers' concepts of what is science teaching*. Paper presented at the American Educational Research Association annual Meeting, Chicago.

Zoller, U. (2001). Alternative assessment as (Critical) means of facilitating HOCS – promoting teaching and learning in chemistry education. *Chemistry education Research and practice*, 2(1), 9-1.

PRILOZI

PRILOZI

Popis priloga

Prilog 1. Upitnik o poznavanju značenja odabranih pojmova

Prilog 2. Popis riječi pripremljenih za uporabu u 2. bloku zadataka, podrijetlo i opisanost u Rječnicima

Prilog 3. Ključne riječi razmatrane za uporabu u drugom bloku zadataka UPZ-a s ometačima

Prilog 4. Upitnik očekivanja učeničkog razumijevanja odabranih pojmova

Prilog 5. Test A, TA – prvi test znanja o kemijskom vezivanju

Prilog 6. Test B, TB – drugi test znanja o kemijskom vezivanju

Prilog 7. Protokol za Prvi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Prilog 8. Protokol za Drugi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Prilog 9. Protokol za fokusnu grupu o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Prilog 10. Kovalentne veze i strukture, +KViS, test za ispitivanje razumijevanja modela kovalentnog vezivanja i kovalentnih struktura

Prilog 11. *The truth about ionic bonding*, +TTAIB, test za ispitivanje razumijevanja modela ionskog vezivanja

Prilog 12. Primjer istraživačkog vodiča za OI

Prilog 13. Primjer studentskog vodiča za OI

Prilog 14. Primjer dnevnika rada za tvrdnju Otvorenog intervjuja o kovalentnom vezivanju

Prilog 15. Primjeri neadekvatnih studentskih prikaza kovalentne veze

Prilog 16. Valjani studentski prikazi kovalentne veze

Prilog 1. Upitnik o poznavanju značenja odabranih pojmova

Poštovana, poštovani,
pred vama je UPITNIK čiji će rezultati poslužiti boljem razumijevanju jezičnih problema s kojima se nastavnici i učenici susreću u kemijskom obrazovanju.

Molimo vas da odgovarate slobodno, iskreno i potpuno. Samo nas takvi odgovori mogu voditi k unaprjeđenju nastave kemije. Srdačno Vam se zahvaljujemo.

I. BLOK ZADATAKA

A) Ponuđeno je pet riječi: koeficijent, množina, analiza, težište, konformacija. Za svaku ponuđenu riječ sastavite rečenicu u kojoj će ona imati ispravno (smisleno) značenje. (Dozvoljena je promjena padeža, roda pa i vrste riječi.)

KOEFICIJENT

MNOŽINA

ANALIZA

TEŽIŠTE

KONFORMACIJA

B) Pažljivo pročitajte rečenicu, a potom, ispod nje, napišite značenje podcrtane riječi u danom kontekstu.

Privlačne sile između molekula nazivamo van der Waalsovima silama.

Formula škroba nije jednostavna.

Elektronegativnost je **relativan** koncept.

Velik i lijepo oblikovan **kristal** rijetko možemo naći u prirodi.

Iako atom nema određene granice, često rabimo veličinu poznatu kao **polumjer** atoma.

U svaku orbitalu mogu se smjestiti dva elektrona suprotnog **spina**.

II. BLOK ZADATAKA

Zaokružite tvrdnju koju smatrate ispravnom.

I. Benzin je **derivat** nafte. To znači da je benzin

- 1) lako hlapljiva tekućina.
- 2) samo jedan od mnogih dijelova nafte.
- 3) dobiven iz nafte.
- 4) isto što i nafta.

II. U kojoj je rečenici riječ **modifikacija** smisleno upotrijebljena?

- 1) Modifikacija kukuruza je dugo trajala, ali baš se ništa promijenilo nije.
- 2) Reći ću ti broj mobitela kad se zgotovi modifikacija posljednjih znamenki.
- 3) Zahtjevna modifikacija dijamanta izvedena je brusom od titana!
- 4) Osnovni cilj odgajatelja u vrtiću "Centar grada" jest modifikacija dječjeg ponašanja.

III. U kojoj je rečenici riječ **karbonizacija** smisleno upotrijebljena?

- 1) Karbonizacija je nužan proces u nastanku gazirane vode.
- 2) Karbonizacija drveta bijaše tolikih razmjera da je plamen zahvatio zavjese u kući.
- 3) Karbonizacija šećera temelj je proizvodnje slasnih šećernih ukrasa za svadbene torte.
- 4) Karbonizacijom bijelog brašna pod visokim tlakom nastaje ljepilo.

IV. U kojoj je rečenici riječ **neutralizirati** ispravno upotrijebljena?

- 1) Slana će otopina neutralizirati slatku.
- 2) Moja petica iz znanja neutralizirat će trojku iz zalaganja.
- 3) Nuspojave smo mogli neutralizirati novim lijekom.
- 4) Moja petica iz zalaganja neutralizirat će trojku iz znanja.

V. **Ograničenje** brzine je 40 km/h. To znači da automobil treba voziti

- 1) ne brže od 40 km/h.
- 2) točno 40 km/h.
- 3) brže ili sporije od 40 km/h, ali nikako 40 km/h
- 4) približno 40 km/h.

VI. U kojoj je rečenici riječ **efekt** ispravno upotrijebljena?

- 1) Nije bilo planirano - udario ga je u efektu!
- 2) Efekt grijanja vode je da vrije.
- 3) Lopta je imala veliki efekt s obzirom na putanju kojom je stigla do mreže.
- 4) Nakon popravka automobil se nije mogao pokrenuti – i dalje je imao efekt.

VII. U kojoj je rečenici riječ **simultano** smisleno upotrijebljena?

- 1) Simultano ponašanje odlika je paličnjaka – toliko su nalik grančicama da su nezamjetni.
- 2) Baš zato što je drugačiji, njen je naglasak zvučao simultano.
- 3) Detaljno proučivši lice u zrcalu, zaključila je da se lijeva i desna polovica ipak ne odnose simultano.
- 4) Dvije eksplozije su aktivirane simultano pa zvučahu kao jedna.

VIII. U kojoj je rečenici riječ **konzistentan** ispravno upotrijebljena?

- 1) Maslac je bio konzistentan pri sobnoj temperaturi.
- 2) Njen je odvjetnik prečesto konzistentan, a ne pruža kvalitetne savjete?
- 3) Ručak je bio konzistentan u kratkom vremenu jer bijaše neobično slastan.
- 4) Konzistentan proizvod bez konzervansa nije trajan.

IX. Izračunat je **postotak** ulja u maslinama. To znači da je utvrđeno

- 1) koliko se stotih dijelova nekog broja odnosi na ulje u maslinama.
- 2) koliki je prosječni urod maslina.
- 3) koliki je udio slobodnih viših masnih kiselina.
- 4) koliki je volumni udio ulja u maslinama.

X. Cvjetača se **dezintegrira** ako se dovoljno dugo kuha. To znači da

- 1) promijeni boju.
- 2) se raspadne na manje dijelove.
- 3) reagira sa soli otopljenom u vodi.
- 4) se očisti od mikroorganizama.

XI. U kojoj je rečenici riječ **formiranje** smisleno upotrijebljena?

- 1) Formiranje problema nužan je korak u pisanju znanstvenog rada.
- 2) Kreativnost i formiranje ne idu zajedno.
- 3) Formiranje "živog zida" pokazalo se neuspješnim.
- 4) Uspješno formiranje na sadržaj temelj je uspjeha svakog studenta.

XII. Otkrivene su čestice imale **naboj**. To znači da su čestice

- 1) bile neutralne.
- 2) uzrokovale kiselost.
- 3) sadržavale nejednak broj pozitivnih i negativnih dijelova.
- 4) bile dobri vodiči električne struje.

XIII. Zagađenje je dokazano **elementarnom** analizom. To znači da je analiza bila

- 1) najosnovnija.
- 2) vrlo složena.
- 3) kemijska.
- 4) fizikalna.

XIV. U kojoj je rečenici pravilno upotrijebljena riječ **proporcija**?

- 1) Bijaše mu malo pet proporcija ukusne orahnjače; htio je još!
- 2) Proporcije nagradne igre uvijek su istaknute na stranici organizatora.
- 3) Svaki ekonomist zna izraditi proporciju troškova za sljedeću godinu.
- 4) Proporcija njihovog vlasništva bila je očita – svaki je posjedovao četvrtinu dionica tvrtke.

XV. Izradio je **planarni** prikaz njezine kuće. To znači da je izradio

- 1) model.
- 2) nacrt.
- 3) maketu.
- 4) plan gradnje.

XVI. U kojoj je rečenici riječ **frakcija** ispravno upotrijebljena?

- 1) Frakciju lubanje zadobio je padom s motocikla.
- 2) Frakcija je komplet koji su nosili muškarci u 19. stoljeću - frak i šešir, rukavice i štap.
- 3) Ekstremna frakcija stranke 'DPDPMO' je izvela puč i preuzela vlast.
- 4) Frakcija je crkveni red kojem pripadaju Franjevci.

XVII. Političar je svoje stavove **sublimirao** na pola stranice. To znači da ih je

- 1) sažeto i jezgrovito prikazao.
- 2) razbacao po papiru.
- 3) otvoreno predočio.
- 4) tek površno naveo.

XVIII. U kojoj je rečenici riječ **generalizacija** pravilno upotrijebljena?

- 1) Generalizacija podataka je nužna da bismo izveli valjani zaključak.
- 2) Prošlogodišnja generalizacija studenata najzaslužnija je za dobar prosjek fakulteta.
- 3) Generalizacija novih virusa ugrožava opstanak Sibirskog tigra.
- 4) Generalizacija će omogućiti precizan uvid u svaki od slučajeva.

XIX. U kojoj je rečenici riječ **permanentni** ispravno upotrijebljena?

- 1) Svaki flomaster s rupicama na kućištu, naziva se permanentni flomaster.
- 2) Permanentni je pritisak urodio plodom.
- 3) Nastup TBF-a bio je permanentni događaj na koncertu Rolling Stonesa u Zagrebu.
- 4) Permanentni se lijepak lako odvaja od podloge.

XX. U kojoj je rečenici riječ **donirati** ispravno upotrijebljena?

- 1) Lijek je potrebno donirati prema tjelesnoj masi.
- 2) Prekršaj treba donirati i pohraniti u plavom registratoru.
- 3) Nezbrinutoj djeci donirat će plišane medvjediće.
- 4) Samo je jedan natjecatelj bio u stanju donirati nad ostalima.

III. BLOK ZADATAKA

A) Navedite 3 nastavne cjeline (teme) za koje mislite da učenicima zadaju najviše problema u razumijevanju (od složenije prema jednostavnijoj).

a) _____

b) _____

c) _____

	rezonancija	1	2	3	4	5
	nabojni broj	1	2	3	4	5
	trigonska bipiramida	1	2	3	4	5
	redukcijski potencijal	1	2	3	4	5
	$A = N(p^+) + N(n^0)$					

Demografski podatci:

Q1 Spol: *1 M* *2 Ž*

Q2 Dob: _____

Q3 Obrazovanje: *1 strukovna (3g.)*
 2 strukovna (4g.)
 3 gimnazija
 4 umjetnička

Q5 Završena škola (naziv):

Q6 Koje godine ste završili srednju školu?

Q7 Koji ste studij upisali (preddipl./dipl.) i koju godinu:

Q8 Je li PMF vaš prvi izbor?

- 1 da*
- 2 ne*

Q9 Radi kojeg predmeta ste upisali studij:

- 1 kemije*
- 2 biologije i kemije*
- 3 biologije*

Q10 Želite li biti nastavnik?

- 1 da*
- 2 ne*

Q11 Veličina mjesta u kojem ste završili srednju školu:

- 1 manje od 5.000 stanovnika*
- 2 od 5.000 do 9.999 stanovnika*
- 3 od 10.000 do 29.999 stanovnika*
- 4 od 30.000 do 99.999 stanovnika*
- 5 više od 100.000 stanovnika*

Q12 Županija u kojoj ste završili srednju školu:

L1 Koje časopise koji objavljuju znanstvene i stručne radove iz metodike nastave kemije (i/ili biologije) poznajete?

L2 Na koje načine pratite novosti iz područja obrazovanja u kemiji?
MOGUĆE VIŠE ODGOVORA

- 1 čitanjem časopisa iz područja odgojnih znanosti, članaka i drugih publikacija*
- 2 pomoću Interneta*
- 3 usmenom predajom - u razgovoru sa kolegama*
- 4 ne pratim*

L3 Koliko često čitate stručnu literaturu?

- 1 mjesečno*
- 2 jednom u dva mjeseca*
- 3 nekoliko puta godišnje*
- 4 ne čitam jer mi je nedostupna*
- 5 ne čitam*

Prilog 2. Popis riječi razmatranih za uporabu u 2. bloku zadataka UPZ-a, podrijetlo i opisanost u rječnicima

Tablica 50. Popis riječi pripremljenih za uporabu u 2. bloku zadataka, podrijetlo i opisanost u rječnicima

					<i>Uzork</i>						<i>Uzork</i>
Br.	<i>R</i>	<i>An</i>	<i>Pod.</i>	<i>J.-S.</i>	<i>PMF</i>		<i>An</i>	<i>An</i>	<i>Pod.</i>	<i>J.-S.</i>	<i>PMF</i>
1.	derivat	+	eur	-	+	17.	barijera	+	fr. eur	-	-
2.	modifikacija	+	eur	-	+	18.	naboj	+		-	+
3.	karbonizacija	-		-	+	19.	elementarno	+		-	+
4.	neutralizirati	+	eur	-	+	20.	pohranjeno	+		-	-
5.	ograničenje	+		+	+	21.	proporcija	+	eur	+	+
6.	prosječno	+		+	-	22.	polarizacija	+		-	-
7.	efekt	+	eur	+	+	23.	planarno	-		-	+
8.	raspršiti	+		+	-	24.	inducirati	+	eur	-	-
9.	simultano	+	eur	-	+	25.	afinitet	+	eur	-	-
10.	konzistentno	-		+	+	26.	frakcija	+	eur	-	+
11.	izolirati	+		+	-	27.	sublimirati	+/-		-	+
12.	klasificirati	+		+	-	28.	generalizacija	+		-	+
13.	postotak	+		+	+	29.	permanentni	+	lat	-	+
14.	obilno	+		+	-	30.	donirati	-		-	+
15.	dezintegrirati	+	eur	+	+	31.	ilustrirati	+	lat	+	-
16.	formirati	+		-	+	32.	inicijalni	-	lat	+	-

Legenda

- R* riječ razumijevanje čijeg značenja se ispituje
An + riječ se nalazi u Rječniku hrvatskog jezika (Anić)
Pod. podrijetlo riječi prema Rječniku hrvatskog jezika (Anić)
J.-S. riječ je upotrijebljena u upitniku koji su proveli Johnson i Selepeng (2000)
PMF riječ je upotrijebljena u upitnicima očekivanja učeničkog poznavanja značenja i upitniku razumijevanja značenja pojmova provedenim na studentima PMF-a u Splitu
+/- postoji u rječniku, ali nema značenje koje joj je u istraživanju pridano

Prilog 3. Ključne riječi razmatrane za uporabu u drugom bloku zadataka UPZ-a s ometačima

Tablica 51. Ključne riječi razmatrane za uporabu u drugom bloku zadataka UPZ-a s ometačima

Br.	Riječ	Ometači	Br.	Riječ	Ometači
1.	derivat	dio nafte	17.	barijera	rivijera, karijera, Bajadera
2.	modifikacija	-	18.	naboj	vodič (električne struje)
3.	karbonizacija	karamelizacija, karbon (ljepilo)	19.	elementarno	vrlo složeno - supr. znač.
4.	neutralizirati	slatko-slano, prosjek ocjena	20.	pohranjeno	izvor hrane, pokretač životnih procesa (hrana)
5.	ograničenje		21.	proporcija	porcija, propozicija, projekcija
6.	prosječno	uobičajene	22.	polarizacija	sniženje temp., svađa, kratki spoj
7.	efekt	afekt, efe, defekt	23.	planarno	3D – model, maketa; plan (gradnje)
8.	raspršiti	otići u smjeru vjetra	24.	inducirati	spriječeno - supr. znač.
9.	simultano	simulirano, simpatično, simetrično, slično	25.	afinitet	odbojno - supr. znač.
10.	konzistentno	konzultiran, konzumiran, konzerviran	26.	frakcija	fraktura, frak, franjevci
11.	izolirati	utopli-ohladiti, operirati	27.	sublimirati	razbacati
12.	klasificirati	klasična (procedura), klasne	28.	generalizacija	generacija, geneza (supr. znač.)
13.	postotak	prosjek, udio, volumni udio	29.	permanentni	perforirani, periferni
14.	obilno	obimno (veliko u svojoj vrsti),	30.	donirati	dozirati, dokumentirati, dominirati
15.	dezintegrirati	dezinficirati	31.	ilustrirati	stvoriti iluzije
16.	formirati	formuliranje, formaliziranje, fokusiranje	32.	inicijalni	posljednje - supr. znač., eksperimentalno

Prilog 4. Upitnik očekivanja učeničkog razumijevanja odabranih pojmova

Poštovana, poštovani,
pred vama je UPITNIK koji će poslužiti boljem razumijevanju jezičnih problema s kojima se nastavnici i učenici susreću u kemijskom obrazovanju. On je dio instrumentarija znanstvenog istraživanja koje se provodi na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Splitu pod vodstvom prof. Boba Bucata sa Sveučilišta u Zapadnoj Australiji.

Ovaj, prvi upitnik, zamišljen je kao instrument kojim ćemo prikupiti informacije o vašim očekivanjima učeničkog razumijevanja konkretnih riječi, termina, formula i drugih jezičnih oblika. Učenici koji su u fokusu naše pažnje imaju oko 15 godina i upravo su završili prvi razred srednje škole.

U upitniku nema točnih i netočnih odgovora. Stoga vas molimo da odgovarate slobodno, iskreno i potpuno. Samo takvi nas odgovori mogu voditi k unaprjeđenju nastave kemije. Srdačno vam se zahvaljujemo na uloženom trudu!

I. BLOK ZADATAKA

A) Ponuđeno je pet riječi: koeficijent, množina, analiza, težište, konformacija. Koliki broj učenika, prema vašoj prosudbi, razumije značenje svake od tih riječi? Na skali gdje **1** znači "**nitko**", a **10** znači "**svi**" zaokružite broj koji odgovara vašoj procjeni.

KOEFICIJENT										
10										
MNOŽINA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ANALIZA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TEŽIŠTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KONFORMACIJA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

B) Pažljivo pročitajte rečenicu pa pokušajte prosuditi koliki broj učenika razumije značenje podcrtane riječi? Na skali gdje **1** znači "**nitko**", a **10** znači "**svi**" zaokružite broj koji odgovara vašoj procjeni.

Londonove sile podvrsta su Van der Waalsovih sila.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Molekulu klorovodične kiseline prikazuje formula HCl.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Atomska masa nije **relativna** veličina.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Kristal natrijevog klorida topljiv je u vodi.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Polumjer Zemlje je 6371 km.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Elektron ima **spin** +/- ½.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

II. BLOK ZADATAKA

Ponudeno je dvadeset riječi. Koliki broj učenika, prema vašoj prosudbi, razumije značenje svake od tih riječi? Na skali gdje **1** znači "**nitko**", a **10** znači "**svi**" zaokružite broj koji odgovara vašoj procjeni.

I. **derivat** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

II. **modifikacija** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

III. **karbonizacija** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

IV. **neutralizirati** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

V. **ograničenje** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

VI. **efekt** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

VII. **simultano** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

VIII. **konzistentan** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

IX. **postotak** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

X. **dezintegrirati** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

XI. **formiranje** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

XII. **naboj** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

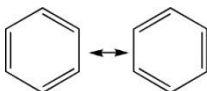
XIII. **elementarno** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

XIV. **proporcija** 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

XV. planarno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XVI. frakcija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XVII. sublimirati	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XVIII. generalizacija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XIX. permanentni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XX. donirati	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

III. BLOK ZADATAKA

Pažljivo pročitajte svaki pojam i proučite znak(ove). Koliki broj učenika, prema vašoj prosudbi, razumije značenje svakog od njih? Na skali gdje **1** znači "nitko", a **10** znači "svi" zaokružite broj koji odgovara vašoj procjeni.

<i>pojam/znak/...</i>	<i>Koliki broj učenika razumije značenje pojma/znaka/...</i>									
korpuskularno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nukleonski broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
propan-1,2,3-triol	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
interakcija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
energija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
otopina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
orbitala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
kg/m^3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
interpretacija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
valentni elektroni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ionska veza	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

rezonancija	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nabojni broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
trigonska bipiramida	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
redukcijski potencijal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A = N(p^+) + N(n^0)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Na temelju čega ste procjenjivali učeničko razumijevanje pojmova, termina, znakova i drugih jezičnih oblika (kojim ste se mjerilom rukovodili u procjeni)?

- Na temelju osjećaja.
- Na temelju procjene vlastitog razumijevanja značenja navedenih jezičnih oblika.
- Na temelju prisjećanja vlastitog znanja u toj dobi.
- Na temelju prosudbe što bi učenici trebali znati.
- Nešto drugo, navedite što?

Prilog 5. Test A, TA – prvi test znanja o kemijskom vezivanju

1. Definirajte elektronegativnost.
2. Definirajte pojam *kemijska veza*.
3. Definirajte pojam *kovalentna veza*.
4. Definirajte pojam *elektronski afinitet*.
5. Objasnite značenje pojma *ionski karakter veze*.
6. Definirajte pojam *duljina veze*.

Prilog 6. Test B, TB – drugi test znanja o kemijskom vezivanju

D) Tri su atoma različitih elemenata proizvoljno označena slovima A, B i C. Vrijednosti njihove elektronegativnosti su: $A = 3,5$; $B = 2,5$ i $C = 2,1$. Atomi tih elemenata formiraju molekule BA, CA i CB.

a) Zaokružite broj ispred formule za koju mislite da označava kovalentni spoj:

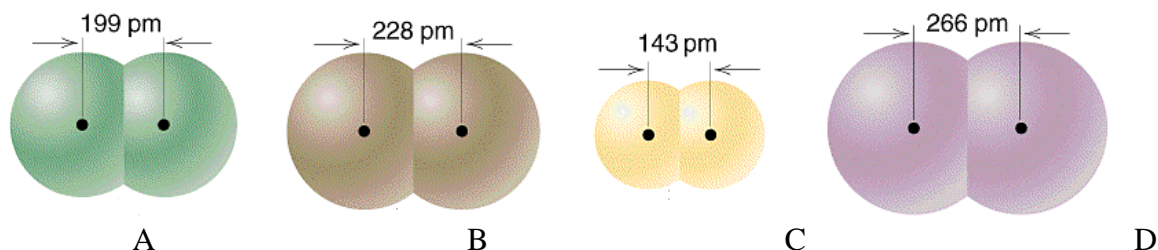
1. BA
2. CA
3. CB

b) Molimo vas, argumentima opravdajte svoj(e) odabir(e).

c) Zaokružite broj ispred niza molekula koje su poredane prema povećanju **ionskog karaktera veza** između njihovih atoma.

1. CB, BA, CA;
2. CA, BA, CB;
3. BA, CB, CA;
4. CA, CB, BA

II) Pažljivo promotrite crteže (A, B, C i D) pa odgovorite na pitanja. Crteži predstavljaju četiri molekule različitih elementarnih tvari. Elementi kojima pripadaju, članovi su iste skupine PSE, a raspoređeni su od prve do četvrte periode.



a) Što predstavljaju **crne točke**?

1. protone;
2. neutrone;
3. jezgru;
4. unutarnju ljusku

b) Što, na svakom od crteža, predstavlja **pm** vrijednost?

1. duljinu veze; 2. dijametar molekule; 3. udaljenost između atoma; 4. energiju veze

c) Atomi u ovim molekulama su povezani:

1. kovalentnom vezom; 2. metalnom vezom; 3. ionskom vezom; 4. Londonovim silama

III) Atomu nepoznatog elementa izmjeren je visok elektronski afinitet i visoka energija ionizacije.

a) Atom kojeg elementa, prema vašoj procjeni, ima takva svojstva?

1. He; 2. F; 3. P; 4. Li

b) Zaokruži broj iza kojeg je pravilno naznačena vrijednost **elektronegativnosti** atoma tog elementa.

1) niska; 2) osrednja; 3) visoka

c) Može li se takav atom kovalentno vezati s atomom nekog alkalijskog elementa? Zaokruži broj ispred točnog odgovora. Obrazloži svoj odabir.

1. Da; 2. Ne

IV) Nacrtaj svoju viziju molekule sastavljene od dva različita atoma povezana kovalentnom vezom bez uporabe standardiziranih oznaka (poput točkica za elektrone ili crtica za vezu). Zamisli da uz pomoć tog crteža moraš objasniti studentu prve godine preddiplomskog studija što je kovalentna veza. Označi i imenuj ključne elemente svog crteža.

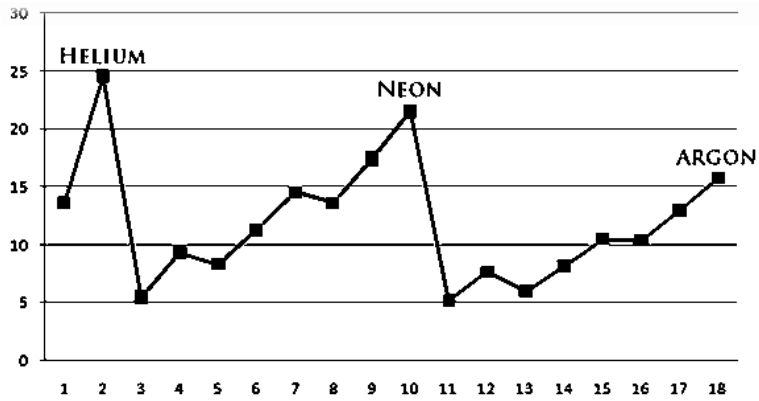
a) Je li veza između atoma na crtežu polarna? Zaokruži broj ispred točnog odgovora.

1. DA; 2. NE

b) Je li molekula prikazana crtežom polarna? Zaokruži broj ispred točnog odgovora.

1. DA; 2. NE

V) Pažljivo prouči grafikon.



a) Što je prikazano na ordinati?

1. elektronegativnost; 2. elektronski afinitet; 3. protonski broj; 4. energija ionizacije

b) Što je prikazano na apscisi?

1. elektronegativnost; 2. elektronski afinitet; 3. protonski broj; 4. energija ionizacije

Prilog 7. Protokol za Prvi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Prvi dio

Cilj: Utvrditi složenost pojmova razmatranih u UPZ-u.

Čine li vam se pojmovi zadani u UPZ-u jednostavniji, složeniji ili jednako složeni kao i većina drugih kemijskih pojmova, a koji se nisu koristili u ovim upitnicima? Zašto?

Cilj: Utvrditi kako su studenti procjenjivali učeničko razumijevanje odabranih pojmova tijekom popunjavanja prvog i drugog UOUR-a

Kako ste procjenjivali učeničko razumijevanje odabranih pojmova tijekom popunjavanja prvog UOUR-a?

Prikazati odabrane rezultate studenta sudionika intervjuja i tražiti ga da ih protumači i opiše okolnosti koje su utjecale na danu procjenu.

Jeste li u drugom UOUR-u mijenjali procjenu? Ako jeste, u kojim slučajevima? Kako? Zašto?

Prikazati odabrane rezultate studenta sudionika intervjuja i tražiti ga da ih protumači i opiše okolnosti koje su utjecale na danu procjenu.

Kojim ste se kriterijima za procjenu učeničkog poznavanja značenja odabranih pojmova rukovodili?

Jeste li (i ako jeste zašto) mijenjali kriterije za prosudbu učeničkog razumijevanja nakon izlaganja UPZ-u?

Drugi dio

Cilj: Spoznati okolnosti i razloge značajnih promjena procjene učeničkog razumijevanja određenih pojmova.

Izdvojili smo riječi kod kojih ste značajnije mijenjali procjenu o broju (postotku) učenika koji je razumiju. Zanimaju nas razlozi i okolnosti u kojima je došlo do promjena. Prijeći ćemo riječ po riječ.

Pročitamo odabranu riječ i zaključimo je li promjena pozitivna ili negativna.

Schema pitanja za svaku odabranu riječ:

Čini li vam se *ta* riječ zahtjevna za razumijevanje? Zašto?

Što ste mislili o učeničkom razumijevanju *te* riječi u prvom UOUR-u?

Što ste mislili o učeničkom razumijevanju *te* riječi u drugom UOUR-u?

Jeste li u drugom upitniku mijenjali procjenu zbog dojma stečenog popunjavanjem UPZ-a?

Je li vam se značenje riječi činilo složenije nakon izlaganja UPZ-u (ako je, za koje riječi, zašto)?

Treći dio – Welligtonovova taksonomija

Cilj: Spoznati po kojim kriterijima studenti prosuđuju složenost riječi.

Pokušajte razvrstati pojmove s liste u tablicu, prema rastućoj složenosti značenja. U prvu kolonu upišite najjednostavnije, a u posljednju najsloženije.

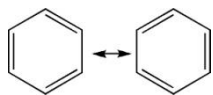
sile

simultano

$\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})$

nukleonski broj

energija



μ

kg/m^3

koeficijent

modifikacija

proporcija

nabojni broj

$A = N(\text{p}^+) + N(\text{n}^0)$

konformacija

naboj

elementarno

planarni

korpuskularno

propan-1,2,3-triol

trigonska bipiramida

1.	2.	3.	4.

1. Zašto vam se *ova* riječ čini složenijom od *ove*?
2. Zašto ste *ovu* riječ svrstali u *ovu* grupu?

Prilog 8. Protokol za Drugi intervju o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Prvi dio

Cilj: Utvrditi stavove studenata o složenosti koncepata kemijskog vezivanja, istražiti eventualni porast svijesti o postojanju jezičnih problema.

Je li bilo naporno ispunjavati sve one upitnike?

Smatrate li da je to bilo korisno za vas? Zašto?

Jeste li, popunjavajući upitnike, stekli neke nove spoznaje o:

- a) složenosti pojedinih pojmova
- b) potrebi da se isti pažljivo i stručno objasne učenicima.

Smatrate li da su kemijske veze koncepti jednostavni za usvajanje?

Jeste li mislili isto prije početka provedbe upitnika?

Koji su detalji najviše utjecali na eventualnu promjenu stava odnosno eventualni porast osviještenosti suočavanjem s jezičnim problemima?

Drugi dio

U ovom su dijelu ispitane okolnosti i razlozi koji su utjecali na rezultat studentskog znanja (UPZ, TA i TB) i njihove procjene učeničkog znanja (UOUR). Pozornost je usmjerena na konkretne detalje izdvojene iz upitnika i testova koje su popunjavali i rješavali sudionici intervjua. Njihova su imena zamijenjena pseudonimima.

Utvrđivanje stavova i razmišljanja o pojmovima i zadacima iz (a) UOUR-a, (b) UPZ-a i (c) TA-a i TB-a.

(a) Utvrđivanje stavova i razmišljanja o pojmovima i zadacima iz UOUR-a

Učeničko razumijevanje termina *koeficijent* je u prosjeku vrednovano s 6,34, u ponovljenom upitniku 6,04, a u trećem (kod onih koji su ga pisali) 5, 09. Kako objašnjavate pad procijene vrijednosti?

Ana, u prvom ste upitniku odabrali vrijednost 8, a u drugom 2? Što je uzrok tako različite procjene?

Procjenu razumijevanja svih pojmova iz bloka A u ponovljenom upitniku ste snizili? Zašto?

U drugom ste bloku prvog zadatka, kod rečenice *Kristal natrijevog klorida* je topljiv u vodi bili dosljedni u procjeni pa ste ocjenom 10 procijenili razumijevanje značenja pojma *kristal* i u prvom i ponovljenom UOUR-u. Otkud postojanost, odnosno što vas čini sigurnom?

Pokušajte definirati *kristal*.

Učeničko razumijevanje riječi *neutralizirati* procjenjujete ocjenama 8 i 8? Zašto? U upitniku u kojem ste vi trebali odabrati rečenicu u kojoj je riječ *neutralizirati* pravilno upotrijebljena, niste odabrali ispravnu tvrdnju? Je li vas omelo što ta riječ u ponuđenom kontekstu nema kemijsko već svakodnevno značenje?

Riječ *rezonancija* vam se u prvom upitniku za učenike učinila vrlo složenom (2.0), a u drugom prilično laganom (9.0) za razumjeti. Na temelju čega ste značajno promijenili procjenu? Pokušajte objasniti što je *rezonancija*. Možete li to prikazati crtežom?

(b) Utvrđivanje stavova i razmišljanja o pojmovima i zadacima iz UPZ-a

Jeste li razumjeli što je trebalo napraviti u bloku A? (Napisati rečenicu u kojoj odabrana riječ ima ispravno znanstveno značenje) Čitate li pažljivo upute?

Odabrana su 2 pojma iz 2. bloka zadataka: *postotak* i *donirati*. Od sudionika treba zatražiti da odaberu da razmišljajući naglas analiziraju tvrdnje iz zadataka o značenju tih pojmova.

Potom ih treba upitati: Zašto *ovu* tvrdnju smatrate ispravnom? Koliko ste sigurni u ispravan odabir? Što vas čini sigurnim?

Potrebno je istražiti razumijevanje dvaju pojmova: *ionska veza* i *nabojni broj*. Postaviti sljedeća pitanja: Što je ionska veza? Što je veza? Što znači fraza *puca veza*? Što se događa s energijom prilikom pucanja kemijskih veza, a što prilikom formiranja kemijskih veza?

Kemijski je proces opisan izrazom $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

Što se događa s vezama u tom procesu?

Što je nabojni broj? Prikažite jednu česticu s nabojnim brojem. Zašto ste baš *tu* česticu odabrali?

Napomena: *Prilikom procjene sigurnosti u vlastito razumijevanje zadanih pojmova Ana uglavnom bira ekstreme (cca ili 5 ili 1), a Dora unutarnje vrijednosti, od 2 do 4. Nadalje, nakon objašnjenja pojma nabojni broj, Ivana sebi daje 1, a nabojni broj je djelomično točno objasnila, a Marina sebi daje 3, a nabojni broj je netočno objasnila.*

Pokušajte obrazložiti svoje prosudbe.

(c) Utvrđivanje stavova i razmišljanja o pojmovima i zadacima iz TA-a i TB-a

Zamoliti će se studenti da još jednom prouče prvi (I.) zadatak i pokušaju ga riješiti glasno promišljajući. (*Cilj je uočiti kako doživljavaju elektronegativnost i pratiti tijek misli u rješavanju ovog problema odnosno uočiti što je nužno znati da bi riješili ovaj problem*).

Zanimljivo je da samo nekoliko studenata zna definirati ionski karakter veze, a 54,3% njih je u stanju riješiti zadatak u kojem je potrebno primijeniti razumijevanja pojma ionski karakter veze. Kako to objašnjavate? Je li vama lakše definirati pojmove ili rješavati probleme koji uključuju te pojmove?

Napomena: *Ana je netočno primijenila pojam i netočno ga obrazložila, dok ga je Šime netočno obrazložio, ali ispravno primijenio.*

Studenti će pažljivo proučiti V. zadatak iz TB-a i pokušati, glasno argumentirajući svaki korak, odabrati točno rješenje.

Postaviti sljedeća pitanja: Razlikujete li ordinatu ili apscisu? Je li vam jednostavnije koristiti oznake X i Y os?

Treći dio

Kakva je bila nastava o kemijskom vezivanju na 1. godini studija/u srednjoj školi (heuristička...)? Je li bila usmjerena na studenta (Je li provedeno aktivno učenje)? Jeste li vizualizirali nastavne sadržaje (modelima, slikama, crtežima...) Jeste li koristili animacije i simulacije? Koliko često? Je li se propitivala vaša predodžba, primjerice, *ionske veze* ili *polarnosti*? Koliko često ste se izražavali crtežom? Pamтите li što ste na Praktikumumu iz opće kemije radili iz područja kemijskih veza? Kojim ste se udžbenikom koristili? Koliko ste zadovoljni njime? Kojom biste ga ocjenom ocijenili s obzirom na bogatstvo različitih jezičnih prikaza (prikazi molekula, modela, struktura; dijagrami, grafikoni, fotografije, sheme...)? Na kojem je jeziku udžbenik pisan? Ako je pisan na engleskom jeziku – je li vam to predstavljalo problem? Kakav?

Prilog 9. Protokol za fokusnu grupu o jeziku u učenju i poučavanju kemije

Prvi dio

Je li bilo naporno ispunjavati i rješavati sve one upitnike i testove?

Je li to bilo korisno za vas? Zašto?

Je li, po vašem mišljenju, modele kemijskog vezivanja jednostavno razumjeti? Zašto?

Jeste li isto mislili prije sudjelovanja u ovom istraživanju?

Koji su kritični događaji utjecali na eventualnu promjenu stavova odnosno eventualni porast osviještenosti o postojanju jezičnih problema?

Na osnovu kojeg kriterija ste prosuđivali učeničko poznavanje značenja odabranih pojmova?

Jeste li mijenjali prosudbe nakon izlaganja UPZ-u? Ako jeste, zašto?

Jeste li prije sudjelovanja u ovom istraživanju promišljali što bi učenici određene dobi trebali znati?

Hoćete li, i na koji način ako hoćete, u svojoj nastavi primijeniti eventualne spoznaje o riječima i simbolima koje ste stekli sudjelovanjem u ovom istraživanju?

Drugi dio

Utvrđivanje stavova i razmišljanja o pojmovima i zadacima iz UOUR-a, UPZ-a, TA-a i TB-a

...

Jeste li razumjeli što je trebalo napraviti u bloku A? (Napisati rečenicu u kojoj odabrana riječ ima ispravno znanstveno značenje)

Čitate li pažljivo upute?

...

Nastavak odgovara drugom, (a) i (b) dijelu protokola za Drugi intervju.

Dodatak – Welligtonovova taksonomija

Dati studentima karticu A i zamoliti da na njoj kružićem označe njima najzahtjevnije pojmove, znakom X djeci najzahtjevnije pojmove i crticom – najzahtjevnije pojmove za poučavanje.

a) Koji pojam smatrate najzahtjevnijim?

b) Koji je pojam najzahtjevniji za učenike?

c) Koja je pojam najzahtjevniji za poučavanje?

Podijeliti studentima karticu *B*.

Rangirajte kolone s pojmovima po zahtjevnosti njihova poučavanja!

Kako ste ih rangirali?

Zašto ste ih tako rangirali?

Procijenite zahtjevnost tehničkih (znanstvenih) riječi iz pete kolone tablice.

Završni dio

Pokušajte riječi koje ste, na kartici *A*, označili zahtjevnima za poučavanje svrstati u odgovarajuće kolone tablice na kartici *B*.

Koje ste riječi rasporedili u kolone?

Zašto ste *ovu* riječ svrstali u *tu* kolonu?

Smatrate li ovo iskustvo razmišljanja o značenju riječi važnim za vašu buduću nastavu? Kako biste unaprijedili nastavu temeljem ovih spoznaja? Što ćete konkretno poduzeti?

Kartica A

Apscisa

Modifikacija

Efekt

Ionski karakter veze

+

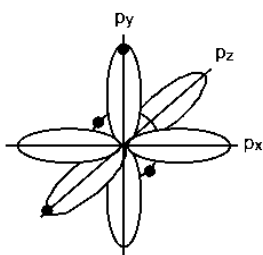
Sila

Hlapljenje

Ilustracija



Elektronegativnost



Inducirati

Direktna proporcionalnost ($p/V = \text{konst.}$?)

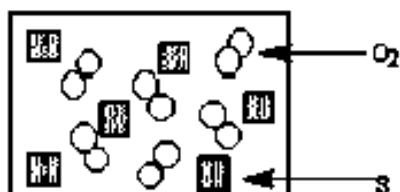
Liebigovo hladilo

Nabojni broj

Sublimacija

Energija

Kemijska veza



Karbonizacija

Trigonska bipiramida

Koeficijent

Polarna molekula

Triacilglicerol

Polarizacija

2NO_2

Dezintegracija

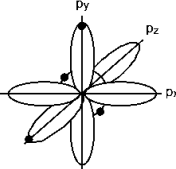
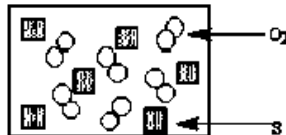
Nukleonski broj

Analiza

Neutralizacija

Interpretacija

Kartica B

Apscisa	Polarizacija	Polarna molekula	+
Trigonska bipiramida	Karbonizacija	Sila	↔
Koeficijent	Hlapljenje	Kemijska veza	$p/V = \text{konst.}$
Liebigovo hladilo	Sublimacija	Elektronegativnost	
Nabojni broj	Neutralizacija	Energija	

Prilog 10. Kovalentne veze i strukture, +KViS, test za ispitivanje razumijevanja modela kovalentnog vezivanja i kovalentnih struktura

Upute za ispitanike

Ovaj test se sastoji od 15 zadataka kojima ispitujemo vaše poznavanje modela kovalentne veze i struktura. Svaki se zadatak sastoji od dva dijela: prvi se dio odnosi na pitanje s dva, tri ili četiri ponuđena odgovora (ili odabira), a drugi na set razloga (ili činjenica, argumenata i sl.), među kojima trebate odabrati jedan koji potkrjepljuje vaš odgovor (ili odabir). Dakle, od vas se očekuje da u prvom dijelu zadatka zaokružite broj ispred odgovora (ili tvrdnje) kojeg smatrate točnim, a potom, u drugom dijelu zadatka, odaberete jedan razlog – odnosno objašnjenje koje potkrjepljuje točnost vašeg odabira.

Nije dozvoljeno pisati po testu. Odgovore na pitanja bilježite na zasebnom formularu (tablici za odgovore).

1. Svaki zadatak pažljivo pročitajte.
2. Uzmite (odvojite) dovoljno vremena da promislite o odgovoru.
3. Zabilježite svoj odgovor na ispravan način u tablicu za odgovore.

Pitanje Odgovor

(1 ili 2)

1. 1

4. Pročitajte sve razloge (objašnjenja, obrazloženja i sl.) koji se nude u zadatku kao potvrda ispravnosti odgovora.

5. Pažljivo odaberite razlog koji najbolje odgovara vašim mislima koje su vas navele na odabrani odgovor.

6. Zabilježite (označite) odabrani razlog na ispravan način u tablicu za odgovore.

Pitanje Odgovor

Razlog

(1 ili 2)

(A, B, C, D)

13. 1

B

7. Ukoliko se predomislite (želite promijeniti odgovor), prekrižite stari odgovor i dodajte novi izbor.

Pitanje Odgovor

Razlog

(1 ili 2)

(A, B, C, D)

14. 1

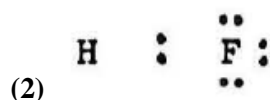
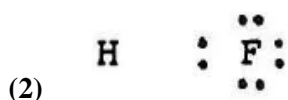
B C

8. Kad ste odgovorili na oba dijela zadatka – označite na skali priloženoj tome pitanju na posebnom obrascu (0 *Tek nagađam odgovor*; 1 *Nisam sigurna/siguran u svoj odgovor*; 2 *Sigurna/siguran sam u svoj odgovor*) odgovarajući broj.

Pitanje	Odgovor	Razlog	Samoprocjena
	(1 ili 2)	(A, B, C, D)	(0, 1, 2)
14.	2	A	0

Ne zaboravite upitnik označiti šifrom u gornjem lijevom kutu. Šifru pribilježite jer će vam trebati i za predstojeće aktivnosti.

1. Koji od sljedećih izraza bolje prikazuje položaj zajedničkog elektronskog para u molekuli fluorovodika (HF)?



Razlog

- (A) Elektroni nepodijeljenih elektronskih parova uvjetuju položaj zajedničkog elektronskog para.
- (B) Budući se vodik (H) i fluor (F) povezuju kovalentnom vezom, zajednički elektronski par treba biti smješten u sredini.
- (C) Fluor (F) snažnije privlači zajednički elektronski par.
- (D) Atom fluora (F) je veći od atoma vodika (H) pa snažnije djeluje na zajednički elektronski par.

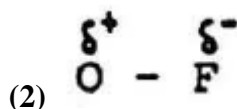
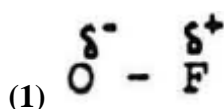
2. Reakcijom dušika (element 15. skupine) i broma (element 17. skupine) nastat će molekule produkta. Te će molekule, najvjerojatnije, imati oblik koji najbolje opisujemo kao:

- (2) **Planaran (trokut)** (2) **Trostrana piramida** (3) **Tetraedar**

Razlog

- (A) Atom dušika ostvaruje tri veze koje se podjednako odbijaju jedne od drugih formirajući planarnu molekulu trokutasta oblika.
- (B) Tetraedarski raspored zajedničkih i nepodijeljenih parova elektrona oko (jezgre) atoma dušika određuje oblik molekule.
- (C) Polarnost veze između atoma dušika i broma određuje oblik molekule.
- (D) Razlika u elektronegativnosti između atoma broma i dušika određuje oblik molekule.

3. Polarnost veze između kisika i fluora bolje prikazuje izraz:



Razlog

- (A) Nepodijeljeni elektronski parovi na svakom od atoma uzrokuju polarnost veze.
- (B) Veza među atomima kisika i fluora je polarna jer atom kisika ima 6 valentnih elektrona, a atom fluora 7.
- (C) Zajednički elektronski par je bliže atomu fluora.
- (D) Veza je polarna jer se iz atoma kisika formira O^{2-} ion, a iz atoma fluora F^- ion.

4. Silicijev karbid ima visoko talište i vrelište. Ovi podaci sugeriraju da su veze u silicijevom karbidu:

(1) **slabe**

(2) **jake**

Razlog

- (A) Silicijev karbid je kristalna tvar sastavljena od kovalentno povezanih molekula.
- (B) Velika količina energije je potrebna da bi se nadvladale međumolekulske sile u kristalnoj rešetci silicijeva karbida.
- (C) Silicijev karbid je molekularni kristal.
- (D) Silicijev karbid je kristalna tvar sastavljena od niz(ov) a kovalentno vezanih atoma. Možemo ga smatrati jednom velikom (makro)molekulom.

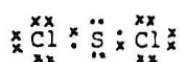
5. Molekula SCl_2 najvjerojatnije ima:

(1) **savijen (svinut ili "V") oblik**

(2) **ravan (linearan) oblik**

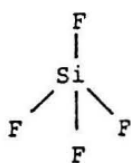
Razlog

- (A) Odbijanja između zajedničkih i nepodijeljenih elektronskih parova rezultiraju oblikom molekule.
- (B) Odbijanja između nepodijeljenih elektronskih parova određuju oblik molekule.
- (C) Dvije veze između atoma sumpora i klora se maksimalno odbijaju zauzimajući linearan položaj pa molekulu SCl_2 možemo prikazati sljedećom strukturom:



- (D) Visoka elektronegativnost klora u odnosu na sumpor je najznačajniji čimbenik koji utječe na oblik molekule.

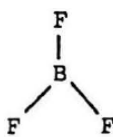
6. Koja je, među prikazanim molekulama, polarna?



(1)



(2)



(3)

Razlog

- (A) Molekula je polarna zbog visoke elektronegativnosti fluora.
- (B) Nesimetrične molekule sastavljene od različitih atoma su polarne.
- (C) Nepodijeljeni elektroni atoma u molekuli induciraju dipol i time molekulu čine polarnom.
- (D) Velika razlika u elektronegativnosti atoma povezanih kemijskim vezama molekulu čini polarnom.

7. Voda (H_2O) i sumporovodik (H_2S) imaju sličnu kemijsku formulu i isti (savijen, "V") oblik molekule. Pri sobnoj temperaturi, voda je tekućina, a sumporovodik plin. Ta razlika u agregacijskim stanjima je posljedica relativno jakih međumolekulskih sila između:

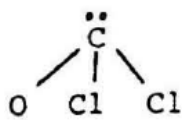
(1) H_2O molekula

(2) H_2S molekula

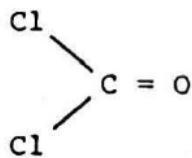
Razlog

- (A) Razlika u jakosti međumolekulskih sila je posljedica razlike u jakosti O-H i S-H kovalentnih veza.
- (B) Veze u molekuli H_2S lako pucaju, dok one u molekuli H_2O nisu.
- (C) Razlika u jakosti međumolekulskih sila je posljedica razlike u polarosti molekula.
- (D) Razlika u jakosti međumolekulskih sila je posljedica činjenice da je H_2O polarna molekula dok je H_2S nepolarna molekula.

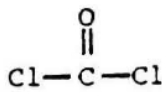
8. Koja od sljedećih struktura najbolje prikazuje oblik COCl_2 molekule?



(1)



(2)



(3)

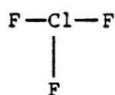
Razlog

- (A) Oblik molekule COCl_2 ovisi o elektronegativnosti svakog od atoma.
- (B) Oblik molekule COCl_2 je posljedica približno jednakih odbijanja između zajedničkih i nepodijeljenih elektronskih parova ugljika.
- (C) Oblik molekule COCl_2 je posljedica jače polarosti C=O dvostruke veze u molekuli, u odnosu na druge veze.

(D) Oblik molekule COCl_2 je posljedica jednakih odbijanja između veznih područja nastalih povezivanjem atoma klora i kisika s atomom ugljika.

9. Molekula klorova trifluorida (ClF_3) često se opisuje kao planarna molekula, "T" oblika.

Strukturu joj prikazuje formula:



Na temelju ovih informacija, ClF_3 je, najvjerojatnije:

- (1) polarna molekula (2) nepolarna molekula

Razlog

- (A) Molekula je polarna ako su veze među njenim atomima polarne.
- (B) Budući fluor ima visoku vrijednost elektronegativnosti, molekula je polarna.
- (C) "T" oblik raspodjele polarnih veza uzrok je polarnosti molekule.
- (D) Molekula nije polarna zbog male razlike u vrijednosti elektronegativnosti između atoma klora i fluora.

10. "Pravilo okteta" se koristi da bi se odredio:

- (1) oblik molekule (2) broj veza koje atom ostvaruje

Razlog

- (A) Pravilom okteta se utvrđuje da atom formira kovalentne veze dijeljenjem elektrona s ciljem popunjavanja valentne ljuske s 8 elektrona.
- (B) Pravilom okteta se utvrđuje da je broj kovalentnih veza jednak broju elektrona u vanjskoj ljusci.
- (C) Pravilom okteta se utvrđuje ovisnost oblika molekule o broju zajedničkih elektronskih parova.
- (D) Pravilom okteta se definira oblik molekule kao posljedica usmjerenosti četiriju elektronskih parova u vrhove tetraedra.

11. Suhi je led čvrsta tvar sastavljena od molekula ugljikova dioksida. Koristi se kao sredstvo za hlađenje pojedinih vrsta namirnica. Tijekom tog procesa, suhi led sublimira. Na temelju ovih informacija suhi se led može svrstati u:

- (1) molekulske kristale (2) atomske kristale

Razlog

- (A) Kristalna rešetka suhog leda sastavljena je od niza kovalentno vezanih atoma ugljika i kisika koji zajedno čine veliku molekulu.
- (B) Kristalna rešetka suhog leda sastavljena je od molekula ugljikova dioksida međusobno povezanih slabim privlačnim silama.

- (C) Kristalna rešetka suhog leda sastavljena je od molekula ugljikova dioksida međusobno povezanih kovalentnim vezama.
- (D) Kristalna rešetka suhog leda sastavljena je od molekula ugljikova dioksida međusobno povezanih jakim privlačnim silama.

12. Temeljem usporedbe tvari sastavljenih molekula OF_2 i tvari sastavljenih od molekula CF_4 , najlogičnije je zaključiti kako će međumolekulske sile biti:

- (1) **snažnije među molekulama OF_2**
- (2) **snažnije među molekulama CF_4**
- (3) **jednako snažne među molekulama OF_2 i CF_4**

Razlog

- (A) Četiri su polarne veze u molekuli CF_4 , a samo dvije u molekuli OF_2 .
- (B) Mala razlika u elektronegativnosti atoma kisika i fluora razlog je nepolarosti molekule OF_2 .
- (C) Velika razlika u elektronegativnosti atoma ugljika i fluora razlog je polarosti molekule CF_4 .
- (D) CF_4 je simetrična, nepolarna molekula, dok je OF_2 nesimetrična i polarna molekula.

13. Teorija odbijanja elektronskih parova valentne ljuske, *VSEPR* (*valence shell electron pair repulsion*), se koristi da bi odredili:

- (1) **polarnost molekula.**
- (2) **oblik molekula.**

Razlog

(A) *Nepodijeljeni elektroni određuju polarnost molekula. Na primjer, nepodijeljeni elektroni atoma B u molekuli*



uzrokuju djelomičnu negativnost (δ^-) atoma B.

(B) *VSEPR teorijom se utvrđuje kako je oblik molekule uvjetovan raspodjelom zajedničkih i nepodijeljenih elektronskih parova oko centralnog atoma s ciljem minimiziranja odbijanja elektrona.*

(C) *VSEPR teorijom se utvrđuje da je polarnost molekule ovisna o broju prisutnih (postojećih) polarnih veza.*

(D) *VSEPR teorijom se utvrđuje da je oblik molekule posljedica odbijanja atoma u molekuli.*

14. Atomi sumpora i klora tvore polarnu kovalentnu vezu u molekuli SCl_2 .

U ovoj vezi, atom s djelomično pozitivnim nabojem (δ^+) je:

(1) sumpor

(2) klor

Razlog

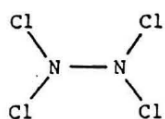
(A) Sumpor donira jedan elektron atomu klora pri čemu nastaju S^+ i Cl^- ioni.

(B) Sumpor je djelomično negativan (δ^-) i može formirati S^{2-} ion, dok klor može formirati samo kloridni ion Cl^- .

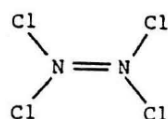
(C) Broj valentnih elektrona sumpora i klora određuje polarnost veze.

(D) Klor ima visok koeficijent elektronegativnosti pa će se podijeljeni elektronski par nalaziti malo bliže njemu nego li atomu sumpora.

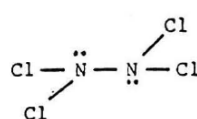
15. Koji od sljedećih prikaza najbolje predstavlja strukturu N_2Cl_4 ?



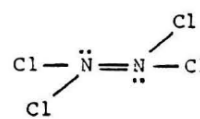
(1)



(2)



(3)



(4)

Razlog

(A) Visoki koeficijent elektronegativnosti dušika uzrok je činjenici da se atom dušika uvijek veže barem jednom dvostrukom ili trostrukom vezom.

(B) Struktura je posljedica odbojnih sila koje djeluju između 5 elektronskih parova dušikova atoma (uključujući zajedničke i nepodijeljene).

(C) Struktura je posljedica odbojnih sila koje djeluju između 4 elektronska para dušikova atoma (uključujući zajedničke i nepodijeljene).

(D) Struktura je rezultat odbijanja među vezama u molekuli.

Tablica za odgovore

Šifra:

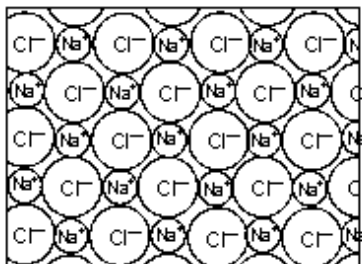
Skala samoprocjene

- 0 Tek nagađam odgovor
- 1 Nisam sigurna/siguran u svoj odgovor
- 2 Sigurna/siguran sam u svoj odgovor

Pitanje	Odgovor (1, 2, 3 ili 4)	Razlog (A, B, C ili D)	Samoprocjena (0, 1 ili 2)
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			

Prilog 11. *The truth about ionic bonding*, +TTAIB, test za ispitivanje razumijevanja modela ionskog vezivanja

Izjave se odnose na shematski prikaz strukture natrijevog klorida. Shema prikazuje dio sloja kristala natrijeva klorida.



Pažljivo pročitajte tvrdnje (izjave) i prosudite njihovu ispravnost.

1. Pozitivno nabijeni ion će biti privučen bilo kojim negativno nabijenom ionu.
2. Natrijev ion je vezan samo s onim ionom klora kojem je donirao elektron.
3. Atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati.
4. Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.
5. Prema shemi, kloridni je ion privučen jednom ionu natrija tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima natrija povezan samo silama.
6. Prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan natrijev i jedan kloridni ion.
7. Ionskom vezom nazivamo privlačenje između pozitivnih i negativnih iona.
8. Pozitivni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim negativnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.
9. Negativni ion može biti privučen bilo kojim pozitivnim ionom.
10. Nije moguće utvrditi gdje su uspostavljene ionske veze, osim ako znamo koji su natrijevi i kloridni ioni sudjelovali u izmjeni elektrona.
11. Kloridni ion je vezan samo s onim ionom natrija od kojeg je primio elektron.
12. Atom klora može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u njegovu vanjsku ljusku stane još samo jedan elektron.
13. Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula.
14. Negativno nabijeni ion može biti privučen samo jednom pozitivnom ionu.

15. Razlog nastajanja veze između kloridnog i natrijevog iona je taj što su oni suprotnog naboja.
16. Prema shemi, natrijev je ion privučen jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama.
17. Pozitivno nabijeni ion može biti privučen samo jednom negativnom ionu.
18. Ionska veza je kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske.
19. Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.
20. Na shemi nema prikazanih molekula.

Tablica za odgovore

<u>Šifra ispitanika:</u>

Upute za ispitanike

Ovaj test se sastoji od 20 tvrdnji.

Izjave se odnose na shematski prikaz strukture natrijeva klorida. Slika prikazuje dio jednog odsječka kroz trodimenzionalnu kristalnu strukturu.

Molimo Vas da pažljivo pročitate svaku tvrdnju (izjavu), i odlučite da li je (1) točna ili (2) netočna. Odgovorite na sva pitanja bilježeći prosudbe na odgovarajuća mjesta u donjoj tablici.

Samoprocjena

Tek nagađam odgovor (0)
Nisam sigurna/siguran u svoj odgovor (1)
Sigurna/siguran sam u svoj odgovor (2)

Pitanje	Odgovor (1 točno, 2 netočno)	Samoprocjena (0, 1, 2)
1.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
10.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
11.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
12.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
13.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
14.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
15.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
16.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
17.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
18.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
19.	<input type="text"/>	<input type="text"/>
20.	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Prilog 12. Primjer istraživačkog vodiča za OI

(4) Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.

Odaberite: 1 Točno 2 Netočno

Pojmovi koje treba objasniti: elektron, izmjena elektrona, veza.

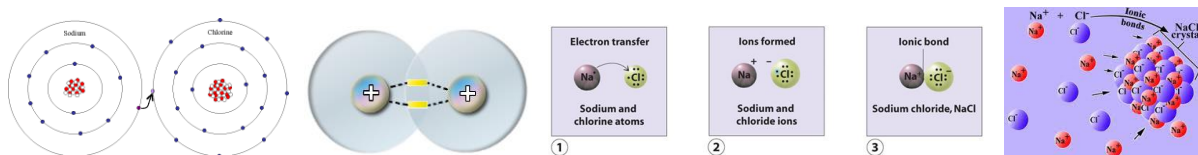
Riječi za propitivanje značenja: interakcija

Da vas učenik pita...

- Što biste mu odgovorili?
- Kako biste obrazložili svoj odgovor?

Obrazloženje treba popratiti odabirom odgovarajućeg prikaza modela na projekciji te obrazloženjem zašto je odabrani model ispravan ili bolji izbor od ostalih, odnosno što nije dobro kod ostalih modela.

Sadržaj projekcije



Cilj pitanja: utvrditi smatraju li studenti *prijenos elektrona* s iona na ion (ali i s atoma na atom) razlogom zbog kojeg nastaju ionske veze.

Okvir: Molekularni

Podgrupa: Usmjerenost na *prijenos elektrona*

Cilj poučavanja: Studente dovesti ih do razumijevanja da su elektrostatska međudjelovanja iona razlog njihova privlačenja.

Tablica 1. (4) Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.

		nesiguran (%)	siguran (%)	ukupno (%)
<i>Izmjena elektrona između iona natrija</i>	točno	14.3	7.1	21.4
<i>i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi</i>	netočno	28.6	50.0	78.6
<i>do formiranja veze među njima.</i>				
ukupno		42.9	57.1	100.0

Prilog 13. Primjer studentskog vodiča za OI

Zadatak. Pitanjima voditi studenta(e) do (iskaza) potpunog razumijevanja.

(6.) Prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klora.

Odaberite: 1 Točno 2 Netočno

Pojmovi koje treba objasniti: molekula, naboj, jedinična ćelija, kristalna rešetka, kristal

1. Pokušajte postaviti prvo pitanje iz perspektive učenika, kako slijedi...

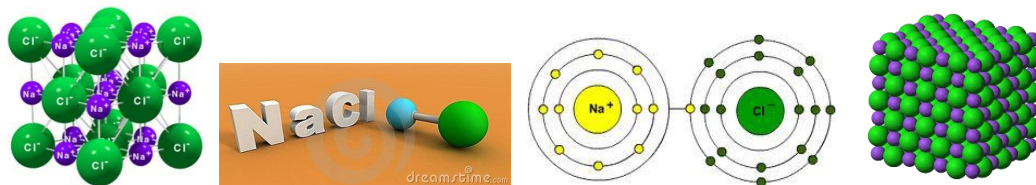
Da vas učenik pita: *Je li točna tvrdnja da, prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klora?:*

- Što biste mu odgovorili?
- Kako biste obrazložili svoj odgovor?

Obrazloženje treba popratiti odabirom odgovarajućeg prikaza modela na projekciji te obrazloženjem zašto je odabrani model ispravan ili bolji izbor od ostalih, odnosno što nije dobro kod ostalih modela.

(Ako ispitanik ovu tvrdnju smatra točnom, zatražiti od nje ili njega da (virtualno) na shemi zaokruži jednu "molekulu" natrijevog klorida.)

Sadržaj projekcije



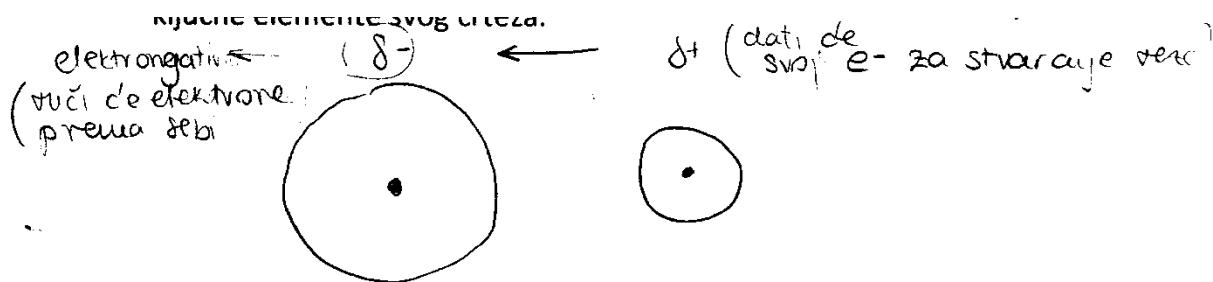
2. Zatražite objašnjenja istaknutih pojmova. Tek kada ste potpuno zadovoljni objašnjenjem jednog, prijedite na drugi pojam.

Prilog 14. Primjer dnevnika rada za tvrdnju Otvorenog intervjua o kovalentnom vezivanju

Tvrdnja: 1 Koji od sljedećih prikaza najbolje predstavlja strukturu N₂Cl₄? ⁽¹⁵⁾	
"Otvoreni intervjui"	<p><i>Ako ste razumjeli ili naučili nešto novo: a) napišite što je to;</i></p>
	<p><i>b) opišite okolnosti u kojima se to dogodilo;</i></p>
	<p><i>c) navedite što vas je dovelo do nove spoznaje (konkretno - koja riječ, rečenica, crtež, objašnjenje ispitanika ili voditelja intervjua...).</i></p>
	<p><i>Koji biste detalj kojeg ste sada postali svjesni, koristili u poučavanju kemijskih veza?</i></p>
<p><i>Ako vam je nešto ostalo nejasno ili je nepotpuno objašnjeno, zabilježite ovdje:</i></p>	
<p>Stav poslije intervjua (zaokruži):</p> <p>1 2 3 4</p> <p>Razlog: A B C D</p>	<p>Samoprocjena:</p> <p>0 tek nagađam odgovor</p> <p>1 nisam sigurna/siguran u svoj odgovor</p> <p>2 sigurna/siguran sam u svoj odgovor</p>

Prilog 15. Primjeri neadekvatnih studentskih prikaza kovalentne veze

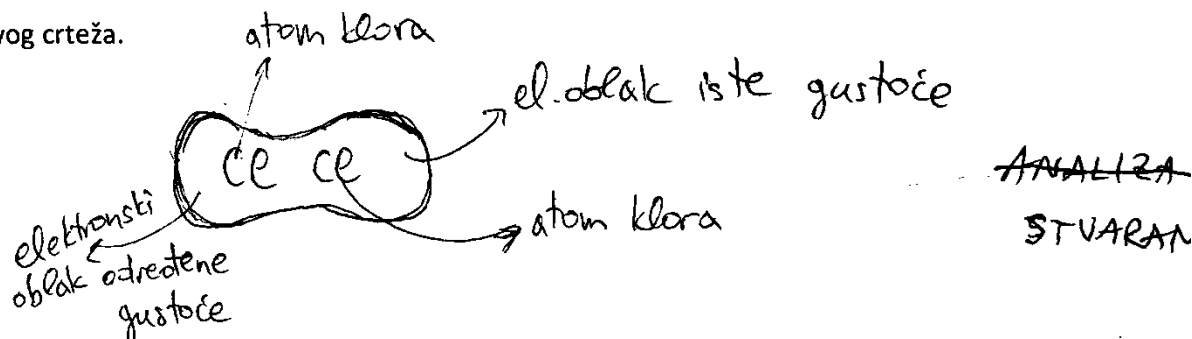
a) Pogrešan prikaz



Slika 15. Prikaz kovalentne veze koja još nije uspostavljena

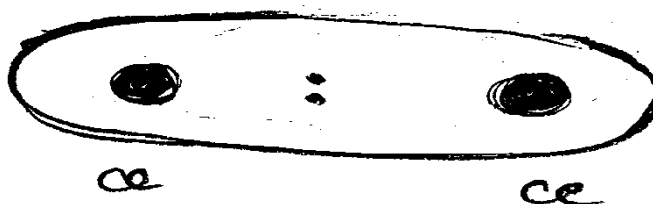
b) Pogreške uslijed zanemarivanja uputa iz zadatka

svog crteža.



Slika 16. Prikaz homonuklearne, a ne heteronuklearne molekule (1)

IV)

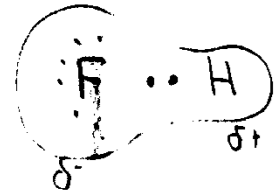
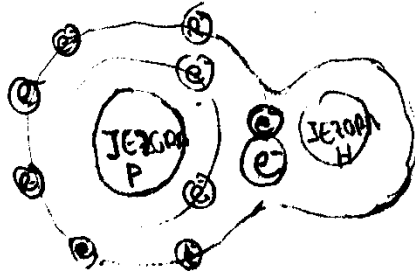


Slika 17. Prikaz homonuklearne, a ne heteronuklearne molekule (2)

STVARANJE
(osmišljati, oblikovati)

uporabe standardiziranih oznaka (poput točkica za elektrone i crteža moraš objasniti studentu prve godine prediplomskog st ključne elemente svog crteža.

${}_9F$ ${}_1H$
 $n(p) = 9$
 $l(e) = 9$
 $l(m) = 9$



Slika 18. Standardiziranim oznakama prikazana kovalentna veza odnosno građa molekule (prikazuje se zajednički elektronski par, elektroni se kreću putanjama...)

sto je kovalentna veza. Označi i imenuj ključne elemente svog crteža.

kovalentna veza n -orbitala ($s 1 e^-$)
 s -orbitala \Rightarrow δ^+ δ^- n n
 atom H atom Br δ^+ δ^- n n

većja nprigatnost manja nprigatnost n n
 manja nprigatnost većja nprigatnost n n

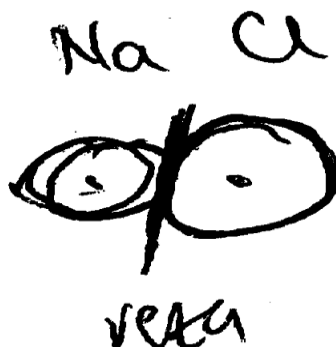
veća nprigatnost manja nprigatnost
 manja nprigatnost većja nprigatnost

HBr
 $1s^1 1s^2 2s^2 2p^5$

a) Je li veza između atoma na crtežu polarna? Zaokruži broj ispred točnog odgovora.
 ① DA; 2. NE

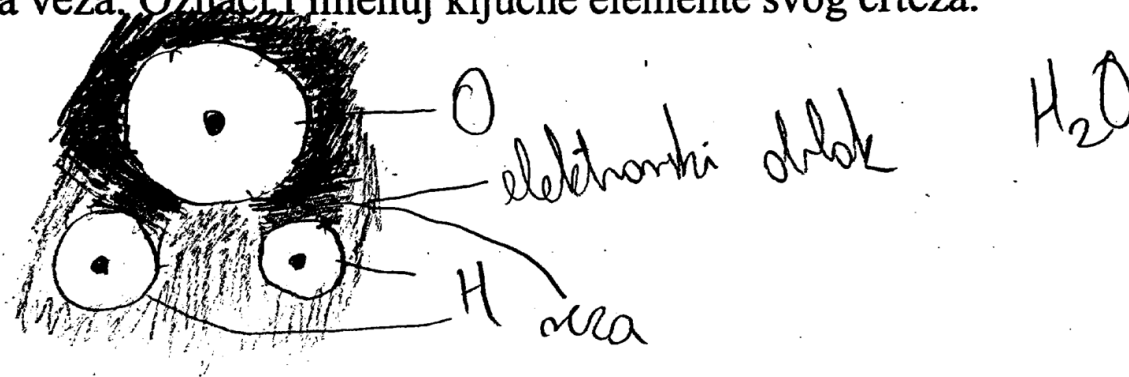
Slika 19. Korektan prikaz kovalentne veze u molekuli bromovodika, ali s uporabom standardiziranih oznaka orbitala

c) Pogrešno poimanje kovalentne veze



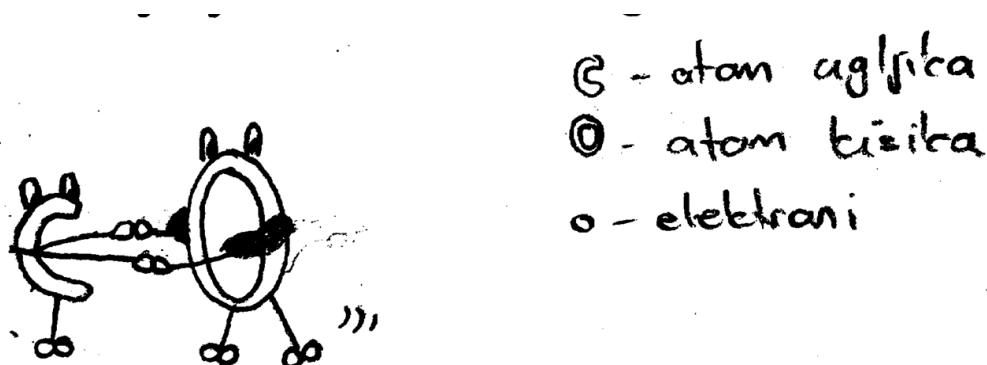
Slika 20. Primjer pogrešnog poimanja - prikaz kovalentne veze kao veze između natrijeva i kloridnog iona iz para natrijeva klorida

ina veza. Označi i imenuj ključne elemente svog crteža.



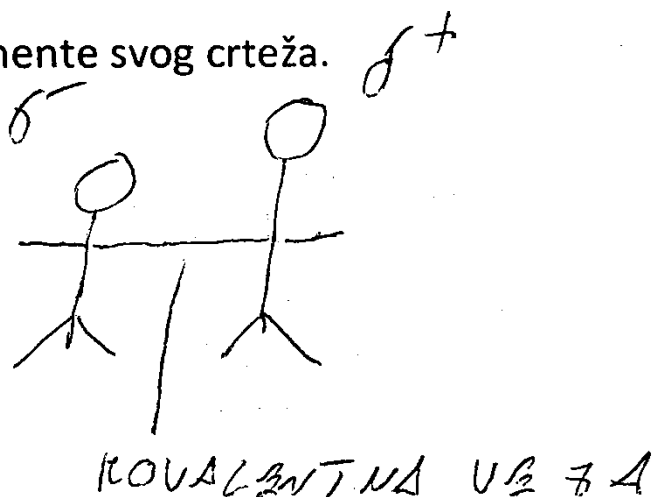
Slika 21. Primjer pogrešnog poimanja - oko jezgre postoji prazan prostor, a izvan njega su elektroni

d) Antropomorfistički pogled na kovalentno vezivanje

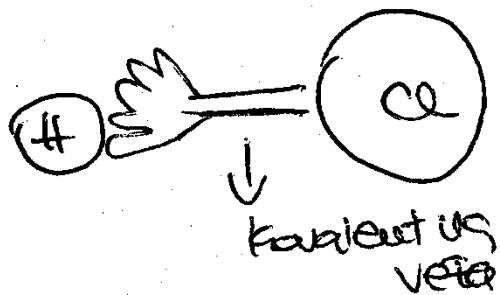


Slika 22. Antropomorfizirani prikaz dvostruke veze u molekuli ugljikova monoksida

mente svog crteža.

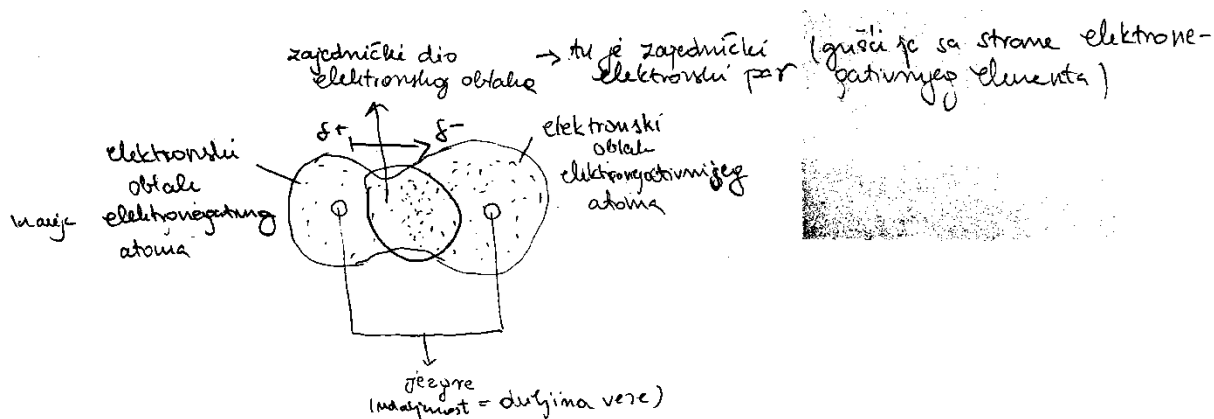


Slika 23. Antropomorfizirani prikaz kovalentne veze između dvaju različitih entiteta

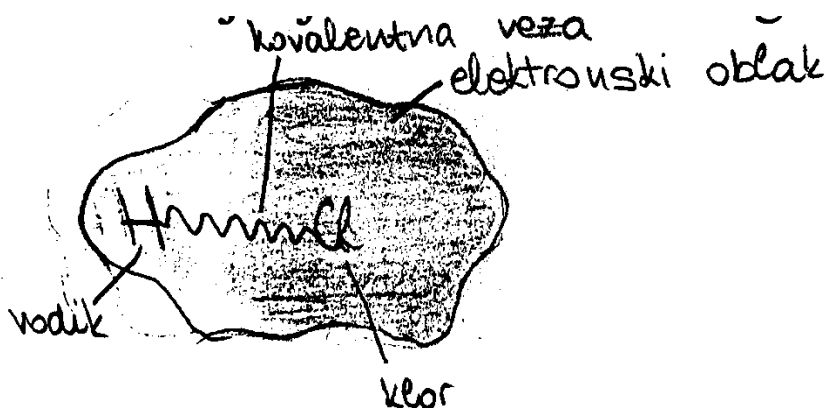


Slika 24. Antropomorfizirani prikaz kovalentne veze u molekuli klorovodika

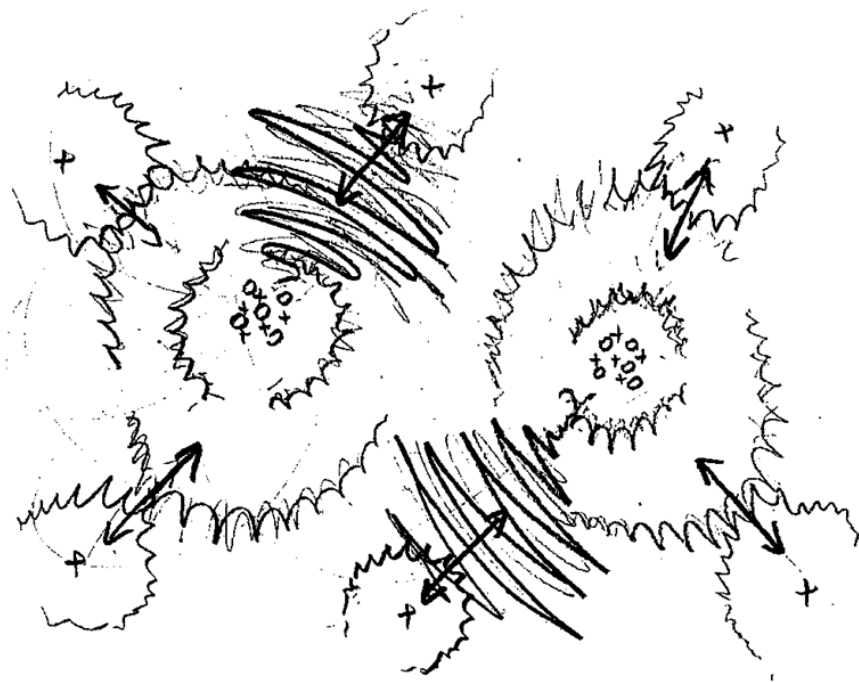
Prilog 16. Valjani studentski prikazi kovalentne veze




Slika 25. Ispravan prikaz dvoatomne molekule s polarnom kovalentnom vezom

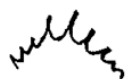


Slika 26. Korektan prikaz kovalentne veze kao usmjerene interakcije između atoma vodika i klora u molekuli klorovodika



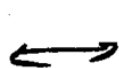
$\overset{+}{\underset{+}{\text{O}}}$ = jezgra

 = p elektron

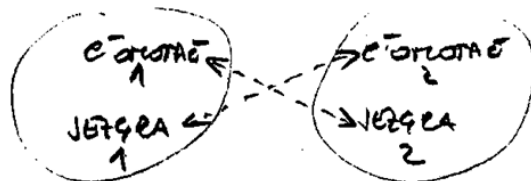
 = s elektron

\uparrow = $p\uparrow$

\circ = n°



= privlačnost
na relaciji:



Slika 27. Detaljni prikaz kovalentnih interakcija u molekuli diborana, B_2H_6 .

ŽIVOTOPIS

ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH DJELA

Roko Vladušić je rođen 24. kolovoza 1971. godine u Splitu gdje je završio osnovnu školu. Studij biologije i kemije na Fakultetu prirodoslovno-matematičkih znanosti i odgojnih područja u Splitu završio je 1998. godine i stekao zvanje profesor biologije i kemije. Od 1999. do 2006. godine radio je kao nastavnik u više osnovnih škola na području Splita i šire okolice. Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Splitu završio je sveučilišni znanstveni poslijediplomski studij iz didaktike prirodnih znanosti, usmjerenje kemija te 2006. godine obranio magistarski rad pod naslovom «Inteligentni tutorski sustavi u nastavi kemije». Iste godine zapošljava se na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Splitu u svojstvu predavača, a 2011. godine izabran je u zvanje višeg predavača. Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu izvodi nastavu iz kolegija Metodika nastave kemije I, Metodika nastave kemije II, Praktikum iz metodike nastave kemije I, Praktikum iz metodike nastave kemije II, Metodička praksa nastave kemije sa seminarom, Istraživanja u kemijskom obrazovanju i Povijest kemije.

U nastavku su, po kategorijama, prikazane aktivnosti i rezultati njegova rada.

Znanstveni radovi u časopisima

1. Vladušić, R. i Ožić, M. (2017). Postoji li veza između poznavanja značenja ključnih pojmova u području kemijskog vezivanja i uspješnog rješavanja odgovarajućih zadataka? *Napredak*, (158) 1-2, 123-141.
2. Vladušić, R. i Ožić, M. (2016). Pre-service teachers' understandings of symbolic representations used in chemistry instruction. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 244 – 251.
3. Vladušić, R., Bucat, B. R. i Ožić, M. (2016). Understanding ionic bonding – a scan across the Croatian education system. *Chemistry Education Research and Practice*, **17**, 685-699.
4. Vladušić, R., Bucat, B. R. i Ožić, M. (2016). Understanding of words and symbols by chemistry university students in Croatia. *Chemistry Education Research and Practice*, **17**, 474-488.
5. Vladušić, R. i Ožić, M. (2016). Predodžbe studenata prirodoslovno-matematičkih fakulteta o ionskoj vezi. *Školski vjesnik*, **65**, 171-188.
6. Vladušić, R., Lozo, M. (2011). Usvojenost koncepta kovalentne veze u svjetlu iskaza učenika o učenju i poučavanju kemije, *Školski Vjesnik*, **3**, 329-347.

Znanstveni radovi u zbornicima skupova

7. Vladošić, R., Ožić, M. i Stankov, S. (2013). Može li sekvencijalni pristup obradi nastavne teme Alkoholi u okviru sustava *Moodle* biti kvalitetan nadomjestak tradicionalnom poučavanju istog sadržaja? Zbornik radova znanstvene konferencije Sveučilište u profesionalnom usavršavanju učitelja u osnovnoj školi, Split.
8. Ožić, M., Vladošić, R. i Stričević, N. (2013). Dizajn nastave kemije i stilovi učenja kao sinergijski prekursori uspješnosti. Zbornik radova znanstvene konferencije s međunarodnim sudjelovanjem, Sveučilište u profesionalnom usavršavanju učitelja u osnovnoj školi, Split.

Stručni radovi u časopisima

9. Vladošić, R., Mrklič, Ž. (2005). Vizualizacija u nastavi kemije. *Napredak*, br. 3, 357-364.

Stručni radovi u zbornicima skupova

10. Vladošić, R. (2006). Učenje i poučavanje kemije uz pomoć inteligentnog tutorskog sustava xTEx-Sys, Savjetovanje Računalo u školi X, Radionica E-učenje i sustavi e-učenja, Šibenik
11. Vladošić, R. (2005). Dodatna nastava kemije na daljinu. Zbornik radova, Prema kvalitetnijoj školi, 4. dani osnovne škole Splitsko-Dalmatinske županije, Split.
12. Vladošić, R. (2004). Proizvodnja eko-sapuna s dodatcima podbiokovskog bilja. Zbornik radova, Prema kvalitetnijoj školi, 3. dani osnovne škole Splitsko-Dalmatinske županije, Split.

Priopćenja, radionice i pozvana predavanja sa sažetcima u knjigama sažetaka

1. Vladošić, R. i Luetić, M. (2016). Ionsko vezivanje: problemi i moguće rješenje. Knjiga sažetaka, 3. Hrvatska konferencija o kemijskom obrazovanju, Split. - međunarodni skup
2. Crnčević, D., Pavlinović, M., Prolić, A., Stojić, D. i Vladošić, R. (2016). Razumijevanje koncepta *energija ionizacije*. Knjiga sažetaka, 3. hrvatska konferencija o kemijskom obrazovanju, Split. - međunarodni skup
3. Vladošić, R., Bucat, R. i Ožić, M. (2016). Tertiary chemistry students' understanding of language items used in chemistry instruction. ECRICE, Barcelona. - međunarodni skup

4. Vladušić, R. i Ožić, M. (2016). Pre-service teachers' understandings of symbolic representations used in chemistry instruction. International Conference on Research on Chemical Education, Beč. - međunarodni skup
5. Tomaš, R. i Vladušić, R. (2016). Significance of experiment in the teaching process – application of potentiometric experiment as example. International Educational Technology Conference, Dubai. - međunarodni skup
6. Vladušić, R. (2015). Koliko čvrstim vezama smo vezani? Priča o razumijevanju kemijskih veza u hrvatskom obrazovnom sustavu. Knjiga sažetaka, 24. hrvatski skup kemičara i kemijskih inženjera, Zagreb.
7. Vladušić, R. i Ožić, M. (2015). Porast metodičkog znanja o kemijskim vezama kao rezultat konceptualnih promjena. Knjiga sažetaka, 24. hrvatski skup kemičara i kemijskih inženjera, Zagreb.
8. Luetić, M., Vladušić, R. i Ožić, M. (2015). Iskustvo kao čimbenik uspješnosti nastave kemije. Knjiga sažetaka, 24. hrvatski skup kemičara i kemijskih inženjera, Zagreb.
9. Vladušić, R. (2012). Do you speak chemish? Language – a determining factor of succes in teaching and learning chemistry, Knjiga sažetaka, 2. hrvatska konferencija o kemijskom obrazovanju, Split. - međunarodni skup
10. Luetić, M. i Vladušić, R. (2012). Towards higher quality of chemistry teaching: Action research in chemistry teaching, Knjiga sažetaka, 2. hrvatska konferencija o kemijskom obrazovanju, Split. - međunarodni skup
11. Luetić, M., Vladušić, R., Judaš, N. (2010). Koliko prošla iskustva nastave kemije utječu na percepciju i oblikovanje kompetencija budućih nastavnika, Knjiga sažetaka, 1. Hrvatska konferencija o kemijskom obrazovanju, Split. - međunarodni skup
12. Lozo, M., Vladušić, R. (2010). Razumijevanje koncepta kovalentne veze, Knjiga sažetaka, 1. Hrvatska konferencija o kemijskom obrazovanju, Split. - međunarodni skup
13. Vladušić, R., Stankov, S. (2007). Inteligentni tutorski sustavi u nastavi kemije u primarnom obrazovanju, Knjiga sažetaka, XX. hrvatski skup kemičara i kemijskih inženjera, Zagreb.
14. Vladušić, R. (2006). Napredne tehnologije u nastavi kemije, CUC, CARNetova korisnička konferencija, Dubrovnik.

Poglavlje u knjizi

1. Krpan, D., Tomaš, S., Vladušić, R., Using effect size for group modeling in E-learning systems. U: Stankov S., Glavinić V., Rosić M. (ur.) Intelligent Tutoring Systems in E-Learning Environments: Design, Implementation and Evaluation. IGI Global, str. 237-257.

Drugi objavljeni tekstovi

1. Vladušić, R. (2012) Aktivno učenje, Pogled kroz prozor – digitalni časopis za obrazovne stručnjake.

Autorstvo i koautorstvo školskih izdanja

1. Vladušić, R., Pernar, M. i Šimičić, S. (2014). Kemija 8, udžbenik iz kemije za osmi razred osnovne škole. Profil, Zagreb.
2. Vladušić, R., Pernar, M. i Šimičić, S. (2014). Kemija 8, radna bilježnica iz kemije za osmi razred osnovne škole. Profil, Zagreb.
3. Pernar, M., Vladušić, R., Šimičić, S., Štiglić, N., Kovač-Andrić, E., Lopac Groš, A., Ožić, M. i Husetović, V. (2014). Kemija 8, priručnik za učiteljice/učitelje kemije za sedmi i osmi razred osnovne škole. Profil, Zagreb.
4. Kocijan, Đ. i Vladušić, R. (2010). U svijetu kemije 8, udžbenik i radna bilježnica za pomoć pri učenju – udžbenički materijal za učenike osmog razreda osnovne škole koji kemiju savladavaju po posebnom programu. Profil, Zagreb.
5. Kocijan, Đ., Petković, M. i Vladušić, R. (2008). U svijetu kemije 8, udžbenik iz kemije za osmi razred osnovne škole. Profil, Zagreb.
6. Vladušić, R. (2008). U svijetu kemije 8, zbirka zadataka s rješenjima iz kemije za osmi razred osnovne škole. Profil, Zagreb.
7. Battistutti Pecha, A., Kocijan, Đ., Filipan, I., Magdalenić, D., Mrklič, Ž., Petković, M., Štiglić, N. i Vladušić, R. (2008). U svijetu kemije 7 i 8, priručnik za učiteljice/učitelje kemije za sedmi i osmi razred osnovne škole. Profil, Zagreb.
8. Mrklič, Ž. i Vladušić, R. Svijet tvari 7 – multimedijalni CD za učenike. Profil, 2005.
9. Mrklič, Ž. i Vladušić, R. Svijet tvari 8 – multimedijalni CD za učenike. Profil, 2005.

Stručne aktivnosti u sklopu državnih natjecanja iz kemije

1. Autor državne zadaće za učenike 1. razreda srednjih škola, Državno natjecanje iz kemije, Sveti Martin na Muri, travanj, 2017.
2. Autor državne zadaće s eksperimentom za učenike 1. razreda srednjih škola, Državno natjecanje iz kemije, Đurđevac, travanj, 2016.
3. Autor državne zadaće s eksperimentom za učenike 4. razreda srednjih škola, Državno natjecanje iz kemije, Šibenik, travanj, 2015.
4. Voditelj radionice za nastavnike kemije, Državno natjecanje iz kemije, Poreč, travanj, 2013.
5. Autor dvije državne zadaće s eksperimentima za učenike 8. razreda, Državno natjecanje iz kemije, Poreč, travanj, 2013.
6. Voditelj radionice za nastavnike kemije, Državno natjecanje iz kemije, Poreč, svibanj, 2012.
7. Autor dvije državne zadaće s eksperimentima za učenike 8. razreda, Državno natjecanje iz kemije, Poreč, svibanj, 2012.
8. Voditelj radionice za nastavnike kemije "*Ovo je trebao biti ispit znanja o plastičnim masama, ali...*", Državno natjecanje iz kemije, Poreč, svibanj, 2012.
9. Autor dvije državne zadaće s eksperimentima za učenike 8. razreda, Državno natjecanje iz kemije, Pula, svibanj, 2011.
10. Autor dvije državne zadaće s eksperimentima za učenike 8. razreda, Državno natjecanje iz kemije, Zadar, svibanj, 2010.

Aktivnosti popularizacije znanosti

1. Organizacija i izvođenje otvorene radionice s kemijskim eksperimentima (V) uz sudjelovanje studenata nastavničkog smjera Biologija i kemija, 12. Festival znanosti, travanj, 2014.
2. Sudjelovanje u organizaciji i provedbi četvrte smotre učeničkih pokusa i istraživačkih radova "*Budi i ti znanstvenik*", 12. Festival znanosti, travanj, 2014.
3. "*Dovoljno je reći – kemija!*", radionica, 12. Festival znanosti, travanj, 2014.
4. Organizacija i izvođenje otvorene radionice s kemijskim eksperimentima (IV) uz sudjelovanje studenata nastavničkog smjera Biologija i kemija, 11. Festival znanosti, travanj, 2013.
5. Sudjelovanje u organizaciji i provedbi treće smotre učeničkih pokusa i istraživačkih radova "*Budi i ti znanstvenik*", 11. Festival znanosti, travanj, 2013.

6. Organizacija i izvođenje otvorene radionice s kemijskim eksperimentima (III) uz sudjelovanje studenata nastavnčkog smjera Biologija i kemija, 10. Festival znanosti, travanj, 2012.
7. Sudjelovanje u organizaciji i provedbi druge smotre učeničkih pokusa i istraživačkih radova "*Budi i ti znanstvenik*", 10. Festival znanosti, travanj, 2012.
8. "*Od učenika do istraživača – kako učitelj može pomoći*", radionica, 10. Festival znanosti, travanj, 2012.
9. Organizacija i izvođenje otvorene radionice s kemijskim eksperimentima (II) uz sudjelovanje studenata nastavnčkog smjera Biologija i kemija, 9. Festival znanosti, travanj, 2011.
10. "*Što bi kemija bez pokusa bila?*", radionica, 9. Festival znanosti, travanj, 2011.
11. Organizacija i provedba prve smotre učeničkih pokusa i istraživačkih radova "*Budi i ti znanstvenik*", 9. Festival znanosti, travanj, 2011.
12. "*Putujmo kroz vrijeme s jednim atomom ugljika*", predavanje, 8. Festival znanosti, travanj, 2010.
13. "*Zagušljivi plin koji život znači – ugljikov dioksid*", radionica, 8. Festival znanosti, travanj, 2010.
14. "*Kemija na otvorenom*" – otvorena radionica s kemijskim eksperimentima (I) uz sudjelovanje studenata nastavnčkog smjera Biologija i kemija s PMF-a, 8. Festival znanosti, travanj, 2010.
15. "*Kako gasiti požare?*", radionica, 7. Festival znanosti, travanj, 2009.
16. "*Toplinski kapacitet vode*", kemijske demonstracije uz sudjelovanje studenata nastavnčkog smjera Biologija-Kemija PMF-a, 6. Festival znanosti, travanj, 2008.

Ostale aktivnosti

- Suorganizator i moderator javne tribine o Nacionalnom okvirnom kurikulumu RH, ispred PMF-a u Splitu (2010.)

Funkcije

- Konzultant ERS-a i Ministarstva znanosti i obrazovanja za predmetne kurikulume Kemije i Prirode (2016.).
- Član Organizacijskog odbora 3. Hrvatske konferencije o kemijskom obrazovanju (2016.).

- Član Organizacijskog odbora 2. Hrvatske konferencije o kemijskom obrazovanju (2012.).
- Predsjednik Organizacijskog odbora 1. Hrvatske konferencije o kemijskom obrazovanju (2010.).
- Član Organizacijskog odbora Festivala znanosti (2010.-2013.).
- Pročelnik Odjela za kemiju Prirodoslovno-matematičkog fakulteta (2011.-2015.).
- Član povjerenstva za Dopunsko pedagoško-psihološko-didaktičko-metodičko obrazovanje PMF – a u Splitu (2011.).
- Voditelj programa Dopunskog pedagoško-psihološko-didaktičko-metodičkog obrazovanja PMF-a u Splitu (2009. – 2011.)
- Voditelj Sekcije za izobrazbu Hrvatskog kemijskog društva Split (2011.).
- Član Ispitne komisije za polaganje stručnih ispita iz kemije (2009.-2017.)
- Voditelj Stručnog vijeća učitelja kemije osnovnih škola Splitsko-dalmatinske županije (2005. - 2006.).
- Član Državnog povjerenstva za provedbu natjecanja iz kemije (2015.-2017., 2009.-2013.)
- Član Međuzupanijskog prosudbenog povjerenstva za smotru učenika učeničkih zadruga osnovnih škola Šibensko-kninske i Zadarske županije (2006.).
- Član Povjerenstva za provedbu natjecanja iz kemije na općinskoj i županijskoj razini (2003. - 2006.).