

Izvorni znanstveni članak /

Original scientific paper

Prihvaćeno: 26.1.2016.

mr.sc. Roko Vladušić

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Splitu

Mia Ožić, Split

PREDODŽBE STUDENATA PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKIH FAKULTETA O IONSKOJ VEZI

SAŽETAK: *Kemijske se veze, kao imaginarni koncepti, mogu objašnjavati na različitim razinama složenosti. Prateći slijed od pojednostavljenih modela s nižih razina obrazovanja, preko znanstveno utemeljenih koncepata koji se uvode u srednjoškolskom obrazovanju pa sve do složenih kvantno-mehaničkih teorija s preddiplomske i diplomske razine, znanje o kemijskim vezama se kontinuirano restrukturira i nadograđuje. U takvom sustavu apstraktnih koncepata, ograničenih pravila i raznovrsnih modela, raznolikost stečenih (alternativnih) predodžbi uvriježena je pojava. Vođeni spoznajom o dihotomnom pogledu učenika i studenata na kemijske veze (Taber, 2002), odlučili smo steći dublje spoznaje o razumijevanju ionske veze. Istražili smo izgrađenost elektrostatskog (znanstvenog) i molekularnog (alternativnog) koncepta ionskog vezivanja u populaciji studenata preddiplomskih i diplomskih studija prirodoslovno-matematičkih fakulteta u RH. Posebnu smo pažnju posvetili potonjem. Podatke smo prikupili dijagnostičkim instrumentom s 20 tvrdnji (Taber, 2012). Kod dijela studenata su identificirane alternativne ideje o ionskim vezama. Iako su oni s diplomskih studija uspješniji, razlike u odnosu na studente s preddiplomske razine nisu značajne.*

Ključne riječi: *alternativni koncepti, ionske veze, kemijske veze, PMF*

1. Uvod

Kemijsko se vezivanje opisuje i objašnjava različitim modelima, konceptima i teorijama. Većina njih se temelji na periodnom sustavu elemenata i elektronskoj konfiguraciji atoma. Njima se rukovodio i Gilbert Lewis pronalazivši uzroke spajanja atoma u postizanju stabilnije elektronske konfiguracije. Njegov se model zasniva (1) na ideji prema kojoj kemijskom (kovalentnom) vezom povezani atomi „dijele“ zajednički elektronski par i (2) svima poznatom „Pravilu okteta“ prema kojem se nastajanje molekula tumači kao posljedica „težnje atoma za popunjavanjem vanjske ljuske elektronima, do stabilne elektronske konfiguracije najbližeg plemenitog plina“. Prema tome, maksimalnu stabilnost (u molekulama) imaju atomi izoelektrični s atomima plemenitih plinova. Unatoč ključnoj poziciji tog pravila u kontekstu kemijskog vezivanja u svim svjetskim udžbenicima, ono se, uglavnom, odnosi tek na atome elemenata druge periode. Atomi većine ostalih elemenata tretiraju se kao „iznimke“, odnosno njihovo se vezivanje najčešće opisuje pravilom „suženog“ ili „proširenog“ okteta. Lewisova teorija o kemijskom (kovalentnom) vezivanju ne nudi objašnjenja fizikalnih i kemijskih svojstava tvari poput vrelišta, tališta, gustoće ili tipova reakcija u kojima te tvari sudjeluju. Zbog toga je, s temeljem u Lewisovim strukturama, razvijena VSEPR (Valence Shell Electron Pair Repulsion) teorija prema kojoj je geometrija molekula posljedica odbijanja slobodnih i zajedničkih elektronskih parova.

S druge strane, ni slika o uzrocima nastajanja kemijskih veza, koju Lewisova teorija nudi, nije jasna ni potpuna. Primjerice, jednostruka veza između atoma u molekuli vodika i ona između atoma u molekuli fluora, Lewisovom se teorijom opisuje na isti način – kao dijeljenje elektronskog para. Eksperimentalno utvrđene razlike u duljini i energiji veza u tim molekulama također ovom teorijom nije moguće objasniti. Stoga su razvijene kvantno-mehaničke teorije. Jedna od njih, teorija Valentne veze, nastajanje molekula opisuje spajanjem atoma tijekom kojeg se potencijalna energija sustava smanjuje na minimum. S obzirom da su u taj proces, u različitim slučajevima, uključene različite atomske orbitale, postaje jasno zašto duljina i energija veza u molekuli vodika i molekuli fluora nisu jednake.

Međutim, ni teorija Valentne veze nije sveobuhvatna. Njome se ne mogu objasniti sva opažena svojstva molekula. Magnetska se svojstva, primjerice kisika, objašnjavaju drugom kvantno-mehaničkom teorijom – teorijom Molekulskih orbitala.

I bez dopunjavanja priče s relativnim konceptom *elektronegativnosti*, *hibridizacijom* kao još jednom kvantno-mehaničkom teorijom ili nekim drugim

znanstveno utemeljenim „kotačićem znanja“ o kemijskim vezama, slika tog fundamentalnog dijela kemije dovoljno je složena i apstraktna. Ako tome pridodamo činjenicu da se ionska i metalna veza opisuju dodatnim teorijama i modelima, situacija postaje još zamršenija, posebice iz perspektive učenika i studenta kemije. U takvom sustavu apstraktnih koncepata, pravila ograničene primjene i raznovrsnih modela, alternativne su predodžbe uvriježena pojava (Barker and Millar, 2000; Nicoll, 2001; Özmen, 2004; Barke, Hazzari and Yitbarek, 2009; Ünal, Coştu and Ayas, 2010; Taber, 2001; Taber, Tsaparlis and Nakiboğlu, 2012).

Vođeni spoznajom o dihotomnom pogledu učenika i studenata na kemijske veze (Taber, 2002), odlučili smo istražiti razumijevanje kovalentne i ionske veze. Zbog raznovrsnosti upotrijebljenih metoda i instrumenata te obimnosti prikupljenih materijala i rezultata, u ovom ćemo se članku usredotočiti samo na specifičnosti promišljanja o ionskom vezivanju.

2. Alternativna poimanja (promišljanja) ionskog vezivanja

Alternativna su poimanja ionskog vezivanja utvrđena u različitim obrazovnim sustavima (Taber, Tsaparlis and Nakiboğlu, 2012). Vrlo su koherentna po sadržaju. Razlikuju se uglavnom po postotku zastupljenosti. S obzirom da se, uglavnom, kovalentnim vezama započinje poučavanje te cjeline, pravila koja vrijede za molekule i molekulske sustave često se (pogrešno) primjenjuju i kod objašnjavanja ionskih veza i struktura. Stoga ne iznenađuje što su, primjerice, Butts and Smith (1987) utvrdili kako neki učenici konceptualiziraju natrijev klorid kao atome natrija i klora povezane kovalentnim vezama. Barker (2000) je, istražujući kemijsko vezivanje i termodinamiku, spoznala kako temeljne ideje o kovalentnim i vodikovim vezama većina studenata, na kraju, relativno uspješno usvaja, dok ioni i ionsko vezivanje i dalje ostaju izvor problema. Uočila je da neki učenici ionske spojeve doživljavaju kao diskretne molekule i da ionskoj vezi pridaju prostorno usmjerenje. Taber (1997, 2002, 2012) je istraživao alternativna poimanja ionskog vezivanja. Utvrdio je da mnogi učenici i studenti alternativna poimanja zasnivaju na: (1) izjednačavanju „ionskih parova“ s molekulama, (2) neodgovarajućeg pridavanja značenja pojmu *valencija*, (3) pogrešnom pridavanju važnosti „povijesti elektrona“ i (4) uvjerenju da se dva iona međusobno povezuju ionskom vezom, dok su s ostalima povezani „tek silama“. U pozadini takvih promišljanja stoji predodžba o ionskoj vezi kao „prijenosu elektrona“. Özmen (2004) je u svom pregledu konkretno naveo alternativna poimanja koja se tiču ionskih veza:

- Postoje samo dvije vrste veza: kovalentne i ionske. Sve ostalo može se smatrati „tek silama“.
- Ionska veza je prijenos elektrona, prije nego privlačenje iona nastalih prijenosom elektrona.
Elektroni se prenose kako bi se popunila valentna ljuska.
- Ionska se veza uspostavlja samo između atoma koji su međusobno predali odnosno primili elektrone. Također, natrijev ion u kristalu natrijeva klorida formira vezu s jednim ionom klora, dok je s pet drugih iona u okruženju povezan silama.
- Natrijev ion je stabilan, kao i ostali ioni, jer ima popunjenu vanjsku ljusku.
- Ionske veze su slabe veze.
- Vezivanje u metalima i ionskim spojevima uključuje međumolekulske veze.
- Radijus natrijeva iona je veći od radijusa kloridnog iona.
- Radijus litijeva iona je veći od radijusa natrijeva iona.
- Ionsko se vezivanje temelji na dijeljenju elektrona.
- Oblik i struktura iona ovisi o tlaku.
- Staklo je ionska kristalna tvar.

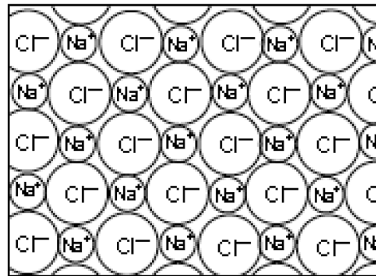
3. Metodologija

Navedena alternativna promišljanja ionskog vezivanja uglavnom su utvrđena u učeničkoj populaciji. Ovim smo istraživanjem htjeli saznati jesu li zastupljena i među studentima u Republici Hrvatskoj (RH). S obzirom da je krajnji cilj iznaći rješenja koja će rezultirati efikasnijom nastavom odnosno boljim razumijevanjem, buduće smo nastavnike kemije označili skupinom od primarnog interesa. Kako se oni u RH prvenstveno regrutiraju iz redova studenata preddiplomskih studija Prirodoslovno-matematičkih fakulteta (PMF), u istraživanje smo uključili studente tih fakulteta. Dvije su takve ustanove u RH. Zagrebački PMF upisuje najviše studenata pa je s tog visokog učilišta najviše studenata (150) sudjelovalo u istraživanju. Sa splitskog je PMF-a 106 studenata uključeno u istraživanje o kemijskim vezama. Njima smo pridodali 28 studenata sa Sveučilišta Juraja Strossmayera iz Osijeka jer se na tom učilištu također obrazuju budući nastavnici kemije. S obzirom da su programi kemije na različitim smjerovima iste institucije vrlo slični, uključili smo i studente kojima kemija nije primarno polje interesa, ali im je neophodna za kvalitetno stručno osposobljavanje. U tablici 1 je prikazan broj studenata po godinama i razinama studija.

Tablica 1.
Broj studenata po godinama i razinama studija

	Preddipl.	Dipl.	n	(%)
God. st.	1		109	(38.4)
	2		66	(23.2)
	3		25	(8.8)
	1		43	(15.2)
	2		41	(14.4)
Ukupno			284	(100.0)
Razina	Preddiplomska		200	(70.4)
	Diplomska		84	(29.6)
Ukupno			284	(100.0)

U istraživanju je upotrijebljen „The truth about ionic bonding“ (TTAIB) dijagnostički instrument s 20 tvrdnji kojima se propituje usvojenost pojedinih elemenata molekularnog (alternativnog) i elektrostatskog (znanstvenog) koncepta ionskih veza (Taber, 2002). Ispitanici su se trebali odrediti prema svakoj tvrdnji procjenjujući je točnom ili netočnom. Instrument je sadržavao shematski prikaz dijela jednog sloja kristala natrijeva klorida (slika 1), na koji se odnosila većina tvrdnji.



Slika 1.- Prikaz dijela sloja kristala natrijeva klorida (Taber, 2002)

Prije nego li smo odlučili primijeniti TTAIB, usporedili smo njegov sadržaj s važećim kurikulumom i utvrdili usklađenost s programima kemije u Republici Hrvatskoj. Elektrostatski je model kemijskih veza temelj njihova poučavanja u RH. Nadograđuje se kvantno-mehaničkim teorijama, manjim dijelom u srednjoj školi, a većim dijelom na fakultetu.

U sljedećem su koraku autori ovog članka, neovisno jedno o drugome, preveli TTAIB na hrvatski jezik. Usporedbom prijevoda nisu uočene bitne razlike. Nakon

detaljne analize, svaka od 20 tvrdnji dijagnostičkog instrumenta je svrstana u odgovarajuće polje tablice 2. (Taber, 2002).

Tablica 2.

Pripadnost tvrdnji iz TTAIB-a pojedinoj grupi alternativnog i znanstvenog okvira ionskog vezivanja (Taber, 2002)

Grupa	Alternativni okvir	TOČ- NO (br. tvr.)	NETOČ- NO (br. tvr.)	Znanstveni okvir
“Molekule ionskih tvari”	Parovi iona “se ponašaju” kao molekule ionskih tvari.	(6, 13)	(20)	Ionske strukture ne sadrže ionske parove – u kristalima ne postoje izolirani parovi iona.
Pretpostavka o valentnosti	Elektronska konfiguracija atoma određuje broj ionskih veza koje taj atom može ostvariti (npr. atom natrija može donirati samo jedan elektron pa ostvaruje jednu vezu s „atomom” klora).	(3, 12, 14, 17)		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).
“Povijesna” pretpostavka	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).	(2, 4, 10, 11, 18)		Elektrostatske sile ovise o veličini naboja i udaljenosti (odvojenosti), a ne prethodnoj konfiguraciji sustava (npr. u natrijevu kloridu je ion klora vezan sa 6 susjednih iona natrija).
“Samo sile” pretpostavka	Ion je povezan sa svim ionima suprotnog naboja koji ga okružuju, ali samo s jednim ostvaruje ionsku vezu, dok je s ostalima povezan tek silama (ne vezama).	(5, 16, 13)		Kemijska je veza rezultat elektrostatskih sila – ionska veza nije ništa više od toga (npr. sile između kloridnog iona i svakog iona natrija koji ga okružuje su jednake).

S obzirom na cilj istraživanja i specifičnost dijagnostičkog instrumenta (iskaz na svaku tvrdnju je ograničen izborom između dvije alternative – točno ili netočno) prikupljeni su podatci obrađeni deskriptivnom statistikom. Tvrdnje su grupirane prema temeljnim značajkama „Molekularnog okvira ionskog vezivanja” (Tablica 2.), a rezultat je protumačen kroz usporedbu sa znanstveno prihvaćenim promišljanjem i raspravu o mogućim uzrocima.

Istraživačka pitanja

Ovim smo istraživanjem pokušali odgovoriti na sljedeća istraživačka pitanja:

1. Koja alternativna promišljanja o ionskom vezivanju iskazuju studenti Prirodoslovno-matematičkih fakulteta u Republici Hrvatskoj?
2. Koje se razlike u promišljanju o ionskom vezivanju mogu uočiti između studenta različitih fakulteta?

4. Rezultati i rasprava

Rezultati su prikazani u postotcima točno procijenjenih tvrdnji. Organizirali smo ih u dva dijela:

1. Prikaz rezultata studenata preddiplomskih i diplomskih studija i
2. Prikaz rezultata studenata po grupama tvrdnji Molekularnog okvira ionskog vezivanja.

Prikaz rezultata studenata preddiplomskih i diplomskih studija

U tablici 3. smo, redoslijedom kojim se pojavljuju u TTAIB-u, prikazali tvrdnje o ionskom vezivanju i postotke točnih iskaza studenata preddiplomskih i diplomskih studija.

Tablica 3.

Rezultati studenata preddiplomskih i diplomskih studija prema tvrdnjama iz TTAIB-a

Tvrdnje iz TTAIB-a		preddiplomci	diplomci
		točno	točno
1	Pozitivno nabijeni ion će biti privučen bilo kojem negativno nabijenom ionu.	91%	87%
2	Natrijev ion je vezan samo s onim ionom klora kojem je donirao elektron.	52%	77%
3	Atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati.	23%	50%
4	Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.	26%	44%
5	Prema shemi, kloridni je ion privučen jednom ionu natrija tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima natrija povezan samo silama.	51%	51%

6	Prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan ion natrija i jedan kloridni ion.	46%	62%
7	Ionskom vezom nazivamo privlačenje između pozitivnih i negativnih iona.	69%	70%
8	Pozitivni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim negativnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.	63%	70%
9	Negativni ion može biti privučen bilo kojem pozitivnom ionu.	67%	63%
10	Nije moguće utvrditi gdje su uspostavljene ionske veze, osim ako znamo koji su natrijevi i kloridni ioni sudjelovali u izmjeni elektrona.	49%	45%
11	Kloridni ion je vezan samo s onim ionom natrija od kojeg je primio elektron.	42%	64%
12	Atom klora može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u njegovu vanjsku ljusku stane još samo jedan elektron.	29%	43%
13	Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula.	74%	64%
14	Negativno nabijeni ion može biti privučen samo jednom pozitivnom ionu.	74%	71%
15	Razlog nastajanja veze između kloridnog i natrijevog iona je taj što su oni suprotnog naboja.	72%	71%
16	Prema shemi, natrijev je ion privučen jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama.	46%	40%
17	Pozitivno nabijeni ion može biti privučen samo jednom negativnom ionu.	67%	68%
18	Ionska veza je kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske.	26%	54%
19	Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom, ukoliko je (su) isti dovoljno blizu.	70%	74%
20	Na shemi nema prikazanih molekula.	61%	82%

Rezultati pokazuju da je dio studenta preddiplomskih i diplomskih studija razvio alternativno poimanje ionskog vezivanja. Usporedbom rezultata uočavaju se razlike u postignućima studenata s različitim razina obrazovanja. Kod većeg su broja tvrdnji promišljanja studenata diplomskih studija usklađenija sa znanstveno prihvaćenim okvirom ionskog vezivanja od promišljanja kolega s preddiplomske razine obrazovanja. Međutim, provedbom Mann-Whitney U-testa nisu utvrđene statistički značajne razlike. Vidljivo je, dakle, da su studenti s preddiplomskih studija u većem postotku izgradili pojedina alternativna poimanja. Dok polovina diplomaca, primjerice, misli da „atom“ natrija može formirati samo jednu ionsku vezu i to zato što u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati (3. tvrdnja), isto poimanje iskazuje više od dvije trećine studenata preddiplomskih studija. Slični su rezultati dobiveni i iskazima na 18. tvrdnju kojom se ionska veza definira kao proces u kojem jedan atom donira elektron drugom atomu. Među studentima diplomskog studija najzastupljenija su alternativna promišljanja vezana uz ideju o jednoj vezi između iona natrija i klora (16. tvrdnja, 40 %), uvjetovanosti broja ionskih veza strukturom vanjske ljuske iona (12. tvrdnja, 43 %) i izmjeni elektrona kao nužnom preduvjetu ostvarivanja ionske veze (4. tvrdnja, 44 %). Najveći se postotak točnih iskaza odnosi na činjenicu da će pozitivno nabijen ion biti privučen bilo kojem negativno nabijenom ionu (1. tvrdnja; oko 90 % preddiplomaca i diplomaca). Zanimljivo je da gotovo 20 % studenata manje točnim procjenjuje (19.) tvrdnju koja, barem naizgled, ima isto značenje kao i prethodno navedena: „Negativni ion može biti vezan s bilo kojim susjednim pozitivnim ionom“. Razlika se u ovim tvrdnjama odnosi na poimanje značenja termina „vezanost“ i „privlačenje“. Za neke su studente to istoznačnice, dok za druge nisu. Neki pak vezanost iona natrija i iona klora u natrijevu kloridu gledaju kroz prizmu formulske jedinice pa smatraju da se takva dva iona vežu jednom vezom dok se s drugim ionima samo privlače. Kako bismo konkretnije raspravljali o navedenim detaljima, u nastavku ćemo prikazati rezultate studenata po grupama tvrdnji Molekularne konceptualizacije (okvira) ionskog vezivanja. Podsjećamo da smo taj koncept preuzeli od Tabera (2002), ne s ciljem utvrđivanja broja studenata koji su ga u cijelosti usvojili već zbog mogućnosti sustavne analize razumijevanja koju tako strukturirani predložak omogućava. Naime, svaka osoba na specifičan način stvara predodžbu ionskog vezivanja. Ako prepoznamo neke elemente Molekularnog okvira kao zastupljenije u promišljanjima studenata, moći ćemo brže i preciznije djelovati u ispravljanju alternativnog poimanja kod postojećih i sprječavanju te pojave kod budućih studenata.

*Prikaz rezultata studenata po grupama tvrdnji (alternativnog)
Molekularnog okvira ionskog vezivanja*

Slaganje s (nekom od) 13 tvrdnji (2., 3., 4., 5., 6., 10., 11., 12., 13., 14., 16., 17. i 18.) iz dijagnostičkog instrumenta, odnosno neslaganje s jednom (20.) može upućivati na alternativnu (možebitno molekularnu) konceptualizaciju ionskog vezivanja. S obzirom da smo tvrdnje tematski grupirali, po grupama ćemo analizirati i rezultate. Uz naglasak na istaknutije rezultate, raspravljat ćemo o njihovoj međusobnoj povezanosti i uvjetovanosti te značaju u kontekstu nastave kemije.

Osvrt na rezultate vezane uz tvrdnje iz grupe „Molekule ionskih tvari“

Tvari sastavljene od molekula razlikuju se strukturom i svojstvima od tvari sastavljenih od iona. Stoga je logično da pojmovi „molekula“ i „ionski spoj“ imaju potpuno različita značenja. Međutim, u člancima o pogrešnim poimanjima kemijskog vezivanja, redovito nailazimo na primjere koji ukazuju na poistovjećivanje i zastupljenost alternativnih značenja tih pojmova. O čemu je riječ? Krenuvši u analizu tvrdnji iz grupe „Molekule ionskih tvari“ svjesno smo odabrali deduktivni put u pokušaju razjašnjenja istraživanih problema ionskog vezivanja. Naime, ideja o molekulama ionskih tvari je, po našem sudu, posljedica poistovjećivanja ionske veze s prijenosom elektrona i različitih značenja koncepta „valencije“. No, ključni problem predstavlja nerazumijevanje značenja pojma „formulska jedinka“. Dok su molekule realne strukture (pitanje je samo koliko su realni naši prikazi molekula), formulska je jedinka tek simbolička tvorba kojom se prikazuje najmanji omjer iona neke tvari. Ona, dakle, ne postoji u čestičnom svijetu. Međutim, pravila koja vrijede za sastavljanje formule molekula vrijede i za formulske jedinice. Važan se dio komunikacije u nastavi kemije odvija putem simbola. Problem se javlja kada smetnemo s uma da su simboli reprezentanti nečega (primjerice, tvari), a ne znakovi koji su, sami po sebi, dovoljno smisljeni i uporabljivi, da njihovo kvalitativno (nekad i kvantitativno) značenje možemo zanemariti. Jednostavnu kemijsku reakciju $\text{Na(s)} + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NaCl(s)}$ možemo opisati na različite načine, ali ako nastali natrijev klorid ne percipiramo kao pravilno strukturiranu tvar sastavljenu od velikog broja iona natrija i klora (u dva mola tvari) onda nam koncept formulske jedinice i strukture ionskih tvari nije potpuno jasan. Štoviše, promišljanje o formulskoj jedinki kao čestici, vodi k mentalnoj predodžbi o parovima (jednovalentnih) iona. Prema takvom je mišljenju, primjerice, natrijev klorid tvar sastavljena od parova koje čine po jedan ion natrija i klora. Takvi parovi, kao zasebne čestice, nalikuju molekulama

pa ih se može doživljavati „molekulama ionskih tvari“. Jesu li takva alternativna promišljanja zastupljena među studentima koji su sudjelovali u ovom istraživanju, pokazuju rezultati iskazani u tablici 4.

Tablica 4.

Postotak točnih iskaza za tvrdnje iz grupe „Molekule ionskih tvari“.

Br. tvr.	„Molekule ionskih tvari“	SPLIT	OSI- JEK	ZA- GREB	SPLIT	OSI- JEK	ZA- GREB
		preddiplomski			diplomski		
		točno	točno	točno	točno	točno	točno
6	Prema shemi, svaka molekula natrijevog klorida sadrži jedan ion natrija i jedan ion klorida.	40%	50%	48%	63%	78%	48%
13	Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula.	80%	90%	71%	56%	72%	72%
20	Na shemi nema prikazanih molekula.	67%	80%	58%	80%	89%	80%

Najzastupljenija su alternativna poimanja utvrđena iskazima vezanima na 6. tvrdnju. Nešto preko 50 % studenata preddiplomskog studija (u prosjeku) na shemi sloja kristala natrijeva klorida prepoznaje molekule (sastavljene od iona natrija i iona klor). S druge strane, postotak točnih prosudbi raste u slučaju 20. tvrdnje pa tako 58 % - 89 % studenata smatra da na shematskom prikazu nema molekula. Zbog čega navedeni rezultati nisu konzistentni, možemo samo nagađati. Da alternativna promišljanja o „molekulama ionskih tvari“ nisu tek sporadična pojava ukazuje i 10 % - 44 % studenata koji misle kako se ioni povezuju u molekule, koje pak, međusobno, nisu povezane.

Studenti s Osječkog sveučilišta iskazuju najmanje alternativnih promišljanja o „molekulama ionskih tvari“. Ipak, s obzirom na malobrojan uzorak tih studenata, ovakvo opažanje nema konkretno značenje, posebno u svijetlu činjenice kako među rezultatima nema statistički značajnih razlika.

Osvrt na rezultate koji se odnose na „Pretpostavku o valentnosti“

Valencija se kao pojam uvodi u sedmom razredu osnovne škole kako bi učenici mogli sastavljati formule molekula i ionskih spojeva. Definira se kao

sposobnost atoma nekog elementa da se veže s odgovarajućim brojem atoma drugog elementa. Atom koji se uvijek spaja samo s jednim atomom drugog elementa naziva se jednovalentnim, pa se jednako naziva i element sastavljen od tih atoma. Iako se takva definicija valencije odnosi na atome, ona se primjenjuje i na ione u formulskim jedinkama. Upravo činjenica da se po istom modelu sastavljaju formule molekula (submikroskopskih čestica) i formulskih jedinki (simboličkih prikaza) može uzrokovati probleme u razumijevanju strukture ionskih spojeva. U prvom se razredu srednje škole koncept valencije drugačije definira. U jednom od udžbenika (Popović i Kovačević, 2014) valencija se opisuje kao broj zajedničkih elektronskih parova u kovalentnim spojevima, a u ionskom spoju je broj elektrona koji neki atom predaje, a neki prima u težnji (nastojanju) postizanja stabilne oktetne elektronske konfiguracije. Ovakva definicija može prouzročiti alternativna promišljanja. Njome se, između ostalog, izriče da su u ionskim spojevima atomi ti koji predaju i primaju elektrone te da je valencija u ionskom spoju jednaka broju prenesenih elektrona. Povezujući ionski spoj s prijenosom elektrona stječe se dojam kako je taj proces nužan uvjet njegova nastanka. Alternativna promišljanja vezana uz „pretpostavku o valentnosti“, propitivana su s dva para tvrdnji (3. i 12. te 14. i 17.) Rezultati su prikazani u Tablici 5.

Tablica 5.

Postotak točnih iskaza za svaku od tvrdnji kojima se propitivala „Pretpostavka o valentnosti“

Br. tvr.	Tvrdnje	SPLIT	OSI-JEK	ZA-GREB	SPLIT	OSI-JEK	ZAGREB
		preddiplomski			diplomski		
		točno	točno	točno	točno	točno	točno
3	Atom natrija može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u svojoj vanjskoj ljusci ima samo jedan elektron kojeg može donirati.	18%	40%	23%	73%	17%	36%
12	Atom klora može formirati samo jednu ionsku vezu, jer u njegovu vanjsku ljusku stane još samo jedan elektron.	24%	10%	32%	61%	6%	40%
14	Negativno nabijeni ion može biti privučen samo jednom pozitivnom ionu.	71%	90%	74%	71%	56%	84%
17	Pozitivno nabijeni ion može biti privučen samo jednom negativnom ionu.	71%	50%	66%	66%	72%	68%

Većina je studenata stekla pogrešne predodžbe povezane s definicijom valentnosti iona. Od 18 do 40 % (ako izuzmemo studente s diplomske razine splitskog PMF-a) ispitanika pogrešno smatra da atom natrija i atom klora mogu formirati samo jednu ionsku vezu jer konfiguraciju najbližeg plemenitog plina ostvaruju otpuštanjem odnosno primanjem samo jednog elektrona. Problem s ovim tvrdnjama je višestruk: a) atomi ne formiraju ionske veze, b) primanje i otpuštanje elektrona nije povezano s brojem veza koje ioni formiraju i c) broj veza može biti pokazatelj valencije samo u kovalentnim spojevima i molekulama. Izjednačavanje valentnosti iona s brojem elektrona koje su atomi, postajući kationi, otpustili, odnosno anioni, primili, funkcionira na razini formulske jedinice. Stoga nije neobično da se formulska jedinica natrijeva klorida zamišlja kao „molekula ionske tvari“ u kojoj su dva suprotno nabijena iona povezana „jednom vezom“. Taj je koncept, naravno, pogrešan. Iako rezultati iskaza na 14. i 17. tvrdnju otkrivaju nove alternativne predodžbe studenata, njihov je postotak zastupljenosti, u odnosu na prethodno opisane rezultate, znatno manji. Čini se da privlačenje studenti ne doživljavaju vezivanjem.

Osvrt na rezultate koji se odnose na „Povijesnu pretpostavku“

„Povijesna se pretpostavka“ temelji na razmišljanju o ionskoj vezi kao prijenosu elektrona s jednog atoma na drugi. Na taj način nastaju ionski spojevi. Elektroni koji se pri tome izmjenjuju uvijek potječu od točno određenog atoma i, ako dođe do raspada spoja, elektroni će se vratiti atomima koji su ih otpustili. Upravo posljednji detalj najbolje opisuje „zajedničku povijest“ elektrona, koja je temelj ove pretpostavke Molekularnog okvira ionskog vezivanja. Pet je tvrdnji upotrijebljeno kako bi se utvrdila zastupljenost opisane „Povijesne pretpostavke“. Rezultati su prikazani u tablici 6.

Tablica 6.

Postotak točnih iskaza za svaku od tvrdnji kojima se propitivala „Povijesna pretpostavka“.

		SPLIT	OSIJEK	ZA- GREB	SPLIT	OSI- JEK	ZA- GREB
		preddiplomski			diplomski		
Br. tvr.	Tvrdnje	točno	točno	točno	točno	točno	točno
2	Natrijev ion je vezan samo s onim ionom klora kojem je donirao elektron.	33%	70%	58%	78%	89%	68%

4	Izmjena elektrona između iona natrija i iona klora razlog je zbog kojeg dolazi do formiranja veze među njima.	31%	20%	25%	61%	0%	48%
10	Nije moguće utvrditi gdje su uspostavljene ionske veze, osim ako znamo koji su natrijevi i kloridni ioni sudjelovali u izmjeni elektrona.	47%	60%	48%	61%	6%	48%
11	Kloridni ion je vezan samo s onim ionom natrija od kojeg je primio elektron.	33%	40%	45%	68%	72%	52%
18	Ionska veza je kad jedan atom donira elektron drugom atomu, tako da oba imaju popunjene vanjske ljuske.	13%	10%	32%	68%	33%	44%

Već se letimičnim pregledom rezultata opaža relativno velika raširenost alternativnih promišljanja. Ona su, u pravilu, manje zastupljena kod studenata diplomskih studija. Zanimljivo je da većina studenata ionsku vezu doživljava kao proces u kojem jedan atom (natrija) donira elektron drugom atomu (klora) s ciljem popunjavanja vanjskih ljuski (18. tvrdnja). „Povijest“ povezanosti natrijeva i kloridnog iona, prema nekima, datira od trenutka kada je atom natrija, točno određenom atomu klora, predao svoj elektron (2. tvrdnja). Kada bi znali koji su ioni sudjelovali u izmjeni elektrona (10. tvrdnja), smatraju neki studenti, točno bi mogli utvrditi gdje su uspostavljene ionske veze.

Očito je alternativna predodžba ionske veze kao procesa prijenosa elektrona toliko razvijena da kod dijela studenata inducira uvjerenje kako svaki elektron pripada svom, točno određenom atomu.

Osvrt na rezultate koji se odnose na Pretpostavku (tek) o silama koje djeluju među ionima, a ne mogu se smatrati kemijskom vezom („samo sile“ pretpostavka)

Jednovalentnost iona natrija i klora, odnosno ideja o parovima iona u kristalu natrijeva klorida, nema (alternativnu) konceptualnu stabilnost dok se ne odgovori na pitanje: Što ionske parove (molekule?) natrija i klora drži na okupu? Ranijim je istraživanjima utvrđeno učeničko/studentско razmišljanje da se jedan ion natrija ionskom vezom veže s jednim ionom klora dok je s drugim ionima koji ga okružuju povezan tek silama. Trima se tvrdnjama (5, 13 i 16) htjela utvrditi zastupljenost takvog razmišljanja. Rezultati su prikazani u tablici XY.

Tablica 7.

Postotak točnih iskaza za svaku od tvrdnji koje smo pripisali „Pretpostavci o silama koje djeluju među ionima, a ne mogu se smatrati kemijskom vezom („samo sile“ pretpostavka).

		SPLIT	OSI- JEK	ZA- GREB	SPLIT	OSI- JEK	ZAGREB
		preddiplomski			diplomski		
Br. tvr.	Tvrdnje	točno	točno	točno	točno	točno	točno
5	Prema shemi, kloridni je ion privučen jednom ionu natrija tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima natrija povezan samo silama.	56%	60%	49%	63%	61%	24%
13	Postoji veza između iona u svakoj molekuli, ali nema veza između molekula.	80%	90%	71%	56%	72%	72%
16	Prema shemi, natrijev je ion privučen jednom ionu klora tvoreći vezu, dok je s ostalim ionima klora povezan samo silama.	47%	30%	47%	63%	11%	24%

Usporedbom 5. i 16. tvrdnje uočava se podudaranje rezultata među studentima splitskog i zagrebačkog PMF-a. To se i očekivalo budući se tim dvjema tvrdnjama opisuje isti problem. Rezultati osječkih studenata su, vjerojatno zbog malobrojnosti, znatno raspršeniji.

Jasno se primjećuje sklonost značajnog dijela studenata ka percipiranju sila koje vladaju između susjednih iona u kristalu, ali ne predstavljaju kemijske veze. Takvo se promišljanje savršeno nadopunjuje s alternativnim konceptom o „molekulama ionskih parova“. Isto tako, potvrda je postojanja prethodno uočenog problema (izričaj stavljen među navodnike je vrlo jezično vrlo nezgrapno. Preformulirati!) strogog razlikovanja značenja pojmova „privlačenje“ i „veza“ kod ionskog vezivanja. Činjenicu da je svaka veza privlačenje, ali svako privlačenje ne mora biti veza, pojedini studenti, u slučaju ionskih veza, pogrešno interpretiraju.

Odgovori na istraživačka pitanja

Na prvo je istraživačko pitanje (Koja alternativna promišljanja o ionskom vezivanju iskazuju studenti Prirodoslovno-matematičkih fakulteta u Republici Hrvatskoj?) odgovor već ponuđen pregledom rezultata. Naime, utvrđeno je

da određeni broj studenata promišlja o „molekulama ionskih tvari“, broju veza uvjetovanih valencijama iona, ionskoj vezi kao prijenosu elektrona i strukturi ionskih tvari utemeljenoj na „vezama i silama“ koje vladaju između iona.

Na drugo je istraživačko pitanje: Koje se razlike u promišljanju o ionskom vezivanju mogu uočiti između studenta različitih fakulteta? odgovor je decidan: Nema statistički značajnih razlika u promišljanju o ionskom vezivanju između studenata različitih fakulteta. Raspršenost rezultata ukazuje kako ispitivani studenti nisu usvojili Molekularni okvir ionskog vezivanja, ali su neki od njih razvili pojedine alternativne predodžbe na kojima se on temelji.

Napominjemo da je skupina studenata iz Osijeka bila malobrojna pa njihove rezultate nismo ni uvrstili u Mann-Whitney U-test. U tablicama smo ih prikazali jer i tako mala grupa pruža mogućnost kvalitativnog analiziranja konkretnog nastavnog problema, što je bio i cilj ovoga rada. Mišljenja smo da nam upravo ovakve analize mogu omogućiti konkretnu i brzu detekciju problema te osigurati kvalitetan temelj za učinkovitija metodička rješenja.

4. Zaključak

Ispitali smo alternativna (i znanstveno utemeljena) promišljanja o ionskom vezivanju na uzorku od 284 studenta splitskog i zagrebačkog PMF-a te Sveučilišta Josipa Juraja Strossmayera iz Osijeka. U istraživanju smo primijenili TTAIB–dijagnostički instrument specificiran za propitivanje usvojenosti (pojedinih elemenata) Molekularnog okvira ionskog vezivanja (Taber, 2002). Prepoznata su alternativna promišljanja o „molekulama ionskih tvari“, broju veza uvjetovanoj valentnosti iona, ionskoj vezi kao prijenosu elektrona i strukturi ionskih tvari utemeljenoj na „vezama i silama“. Nismo utvrdili statistički značajnu razliku među rezultatima studenata s različitih institucija i razina studija. Ipak, rezultati ukazuju na široku zastupljenost alternativnih predodžbi o ionskom vezivanju u ispitivanom uzorku. Za pretpostaviti je da će rezultati istraživanja omogućiti osmišljavanje uspješnijih strategija za ispravljanje alternativnih promišljanja i učinkovitije poučavanje nastavnih sadržaja o ionskim vezama.

LITERATURA

1. Barke, H-D., Hazzari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry – Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
2. 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.
3. Butts, B., and Smith, R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education* 17: 192–201.
4. Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707-730.
5. Özmen, H. (2004). Some Student Misconceptions in Chemistry: A Literature Review of Chemical Bonding, *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 147–159.
6. Popović Zora, Kovačević Ljiljana (2014) *Kemija 1, udžbenik za prvi razred gimnazije*, Alfa.
7. Taber, K. S. (1997). Student understanding of ionic bonding: Molecular versus electrostatic framework? *School Science Review* 78: 85–95.
8. Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations of from educational research. *Chemical Education: Research and Practice*, 2 (2), 123-158.
9. Taber, K. S. (2002). *Misconceptions in chemistry – prevention, diagnosis and cure*. London: Royal Society of Chemistry.
10. 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.
11. Ünal, S., Coştu, B. & Ayas, A. (2010). Secondary School Students' Misconceptions of Covalent Bonding. *Journal of Turkish Science Education*, 7(2), 3-29.

SCIENCE STUDENTS PERCEPTIONS OF ION BONDING

Abstract: *Chemical bonding, as imaginary concepts, can be explained on different complexity levels. Following the sequence of simplified models from lower levels of education, through science-based concepts that are introduced in secondary education up to complex quantum-mechanical theory to undergraduate and graduate levels, knowledge of chemical bonding are continually restructured and upgrades. In such system of abstract concepts, rules and limited variety of models, alternative conceptions are ingrained phenomenon. Guided by knowledge of the dichotomous views of pupils and students on chemical bonding (Taber, 2002), we decided to acquire a deeper knowledge of understanding ion bonding. We investigated construction: electrostatic (scientific) and molecular (alternative) concept of ionic bonding in students population of undergraduate and graduate studies of Faculty of science in Croatia. We have taken a diagnostic instrument with 20 items (Taber, 2012) and strengthened by the addition of self-assessment of safety in the results. At some students we identified alternative ideas about ionic bonding. Although graduate students were more successful, differences compared to undergraduate level students, as a rule, are not significant. Certain alternative thinking elements are strongly related to students from specific institutions.*

Keywords: *alternative concepts, ionic bonding, chemical bonding, Faculty of Science*