

Postoji li veza između poznavanja značenja ključnih pojmova u području kemijskog vezivanja i uspješnog rješavanja odgovarajućih zadataka?

UDK: [81'276.6:54]:371.13

[37.02:54]:371.13

Izvorni znanstveni članak

Primljeno: 12. 07. 2016.



Mr. sc. Roko Vladušić¹
Sveučilište u Splitu,
Prirodoslovno-matematički fakultet
vladusic@pmfst.hr;



Mia Ožić²
OŠ Plitvička jezera,
Mukinje
mia.t.ozic@gmail.com

¹ Roko Vladušić je viši predavač, nositelj kolegija iz područja metodike nastave kemije. Autor je dvadesetak radova i priopćenja. Istraživački je usmjeren na metodičko znanje kemije, pogrešna poimanja kemijskih koncepata i teorija te probleme jezika u kemijskom obrazovanju. Kao autor i koautor napisao je 9 djela za nastavu kemije (udžbenike, radnu bilježnicu, zbirku zadataka, priručnike i multimedijalne CD-ove.) Održao je brojne radionice i predavanja s temama iz metodike nastave kemije; aktivno se bavi popularizacijom znanosti.

² Mia Ožić je učiteljica kemije, doktorandica PMF-a u Splitu na studiju "Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti". Uži znanstveni interes joj je u metodici nastave kemije te primjeni novih metoda u procesu učenja i poučavanja

Sažetak:

U obrazovnim programima budućih nastavnika kemije posebnu pozornost treba pridavati izgradnji metodičkog znanja. Ta se potreba posebno odnosi na znanje o poučavanju temeljnih kemijskih koncepata i teorija. Njihovo razumijevanje i pravilna uporaba jezika, nužni su uvjeti za uspjeh tog procesa. Između fundamentalnih kemijskih koncepata, kemijsko se vezivanje izdvaja kao osnova za razumijevanje svih ostalih. Stoga smo dizajnirali istraživanje koje je rezultiralo spoznajama o poznavanju koncepata kemijskog vezivanja budućih nastavnika kemije. Konkretnije, istražili smo postoji li veza između poznavanja značenja pojmova elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, afinitet za elektrone, ionski karakter veze te ionska veza i uspješnosti rješavanja odabranih nastavnih zadataka koji se temelje na tim konceptima. Osim toga, dobivene smo podatke analizirali i u cilju prepoznavanja jezičnih poteškoća koje mogu utjecati na razumijevanje koncepata kemijskog vezivanja, kao i na evaluacijske ishode. Rezultati upućuju na potrebu restrukturiranja znanja o kemijskom vezivanju budućih nastavnika kemije i nužnost pridavanja veće pozornosti značenju pojmova koji se koriste u učenju i poučavanju o kemijskim vezama.

Ključne riječi: kemijske veze, jezik u nastavi kemije, budući nastavnici kemije, znanje kemije

Uvod

Analizirajući pitanja koja su se kroz povijest koristila za evaluaciju nastavnika, Shulman (1986., str. 5) se zapitao: „Gdje je nestao predmetni sadržaj?“. Uistinu, u evaluaciji nastavnika, kao i u obrazovnim programima budućih nastavnika, najveća se pozornost, u pravilu, posvećuje općim pedagoškim teorijama i metodama poučavanja. Pri tome se često zaboravlja kako je temeljni preduvjet kvalitetnog poučavanja – znanje sadržaja predmeta. Tek s tim znanjem, nastavnik može uspješno promišljati kako taj sadržaj preoblikovati u skup povezanih činjenica i postupaka koji će rezultirati učeničkim razumijevanjem. Shulman je predložio razlikovanje triju kategorija „znanja sadržaja“: (a) znanje predmetnog sadržaja (ZPS), (b) metodičko znanje (MZ) i (c) kurikulumsko znanje. MZ je od posebnog interesa (Shulman, 1987, str. 8) pa je logično u obrazovanju budućih nastavnika kemije više pozornosti posvećivati izgradnji tog znanja. Problem se, međutim, javlja ako uzmemo „zdravo za gotovo“ da su studenti koji upisuju zadnju godinu studija (ili diplomski studij) već stekli

potrebne kompetencije vezane uz poznavanje sadržaja kemije. Stoga stalno moramo propitivati kemijsko znanje studenata i iznalaziti metodička rješenja za poučavanje i učenje onih dijelova kemijskog sadržaja koji se pokazuju „problematičnima“. Ovim smo istraživanjem nastojali učiniti korak u tom pravcu. Usredotočili smo se na kemijsko vezivanje jer je to jedna od najvažnijih tema (Coll i Treagust, 2001., str. 467) i temeljni koncept u kemiji (Taber i Coll, 2002., str. 213), na srednjoškolskoj i sveučilišnoj razini.

Poteškoće koje studenti imaju s razumijevanjem modela kemijskih veza utvrđene su u različitim obrazovnim sustavima (Taber i dr., 2012., str. 2844-2873). Apstraktnost tog sadržaja, udaljenost od svakodnevnog iskustva studenata i učenika (Tan i Treagust, 1999, str. 75) te terminološka specifičnost koja se dijelom ogleda u uporabi svakodnevnih riječi u drugačijem (znanstvenom) značenju (Johnstone i Selepeng, 2001, str. 20), samo su neki od razloga koji poučavanje i razumijevanje kemijskog vezivanja čine složenim. Stoga ne iznenađuje spoznaja da učenici i studenti kemijske veze smatraju “problematičnim” područjem te iskazuju brojna pogrešna poimanja (Coll i Taylor, 2002., str. 177-181; Özmen, 2004., str. 3-6; Taber, 2002., str. 125; Tan i Treagust, 1999., str. 78-81; Vladušić i Lozo, 2011.; Vladušić i sur., 2016.).

Iako je problem nerazumijevanja kemijskog vezivanja detaljno opisan u literaturi, rješenja koja bi imala pozitivan utjecaj na efikasnost poučavanja, rijetko se nude. Jedno od njih se temelji na uporabi različitih modela, od jednostavnih analognih do naprednih apstraktnih, utemeljenih na matematičkim procedurama (Coll i Taylor, 2002., str. 182) i raznovrsnim simboličkim prikazima kemijskih veza (Taber i Coll, 2002., str. 214). Uistinu, modeliranjem submikroskopskog svijeta smanjuje se apstraktnost sadržaja i olakšava razumijevanje. Međutim, modeli, baš kao ni riječi, u kemiji nisu dovoljni. U poučavanju i učenju potrebno se osloniti na kombinaciju i interakciju riječi, slika, dijagrama, animacija, simulacija, modela, grafova, jednadžbi i tablica. Svi oni iskazuju značenje na različite načine – svi imaju određenu važnost, ali i ograničenja (Wellington i Osborne, 2001., str. 6). Također, svi su oni dio jezika – jedne od najvećih, ako ne i najveće prepreke za učenike i studente u učenju prirodoslovlja (Wellington i Osborne, 2001., str. 2).

Jeziku nastave kemije je potrebno posvetiti posebnu pozornost u poučavanju, ali i u istraživanju problema nastave. Stoga smo se odlučili da „jezik“ koji se koristi u poučavanju i učenju kemijskog vezivanja, odnosno njegova semantička komponenta, bude u fokusu ovog istraživanja. Konkretno, ispitali smo poznavanje značenja šest konceptualnih pojmova kemijskog vezivanja i uspješnost rješavanja problemskih zadataka koji se na njima temelje.

U skladu s ciljem, postavljena su dva istraživačka pitanja:

1. U kakvoj je svezi uspješnost rješavanja problema kemijskog vezivanja i poznavanje značenja ključnih pojmova?
2. Koji se jezični problemi mogu prepoznati analizom odgovora uparenog testa o kemijskom vezivanju?

Metodologija

U istraživanju je sudjelovalo 37 studenata dviju generacija koji se na 2. godini diplomskog studija obrazuju za nastavnike kemije i biologije³. Znanje o kemijskom vezivanju uglavnom su formirali na samom početku sveučilišnog obrazovanja.

Kako bismo utvrdili eventualnu vezu između uspješnosti rješavanja problema kemijskog vezivanja i poznavanja značenja ključnih pojmova, osmišljena su i uparena dva ispita znanja. Ti se ispiti znanja razlikuju po opsegu, obliku pitanja i razinama znanja koje propituju. Zajedničko im je da se oba temelje na sadržaju koji uključuje pojmove: *elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, afinitet za elektrone, ionski karakter veze i duljina veze*. Prvim se ispitom (Ispit A, (IA), *vidjeti prilog*) propitivao razumijevanje značenja ključnih pojmova, a drugim (Ispit B, (IB); *vidjeti prilog*) uspješnost rješavanja kemijskih problema koji se temelje na istim ključnim pojmovima. IB je utemeljen na zadacima kojima se uglavnom propituje konceptualno znanje. Za svaki je zadatak, u skladu s revidiranom Bloomovom taksonomijom, određena razina znanja koju student pokazuje uspješnim rješavanjem. IA i IB su anonimno popunjavani tijekom jednog nastavnog sata.

Prikupljeni su podaci obrađeni deskriptivnom statističkom analizom. Autori ovog rada, te iskusni srednjoškolski nastavnik kemije, prvotno neovisno jedni o drugima, a naknadno kroz raspravu i usuglašavanje, evaluirali su odgovore na otvorena pitanja IA-a. Pri tome su se, kao predložkom, služili tablicom s odgovorima izrađenom prema IUPAC-ovoj Zlatnoj knjizi (<https://goldbook.iupac.org/index.html>), terminološkoj bazi hrvatskog strukovnog nazivlja (<http://struna.ihjj.hr>) i relevantnoj kemijskoj literaturi. Svaki je odgovor svrstan u kategoriju točnih, djelomično točnih ili netočnih. Točnim su procijenjeni jednoznačni i cjeloviti odgovori kojima se ispravno opisao ili definirao zadani termin odnosno valjano argumentirao odgovarajući rezultat. Djelomično točnim odgovorom označavao se iskaz koji nije sadržavao pogrešne informacije, ali nije imao sve potrebne elemente da bi ga se smatralo cjelovitim i/ili jednoznačnim. Primjerice, definicija prema kojoj je *kovalentna veza, veza između atoma nemetala*, procijenjena je djelomično točnom. Tom se definici-

³ Na pojedinim se mjestima u članku, studenti diplomskog nastavničkog studija Biologija i kemija nazivaju budućim nastavnicima kemije.

jom točno ukazuje da se kovalentna veza ostvaruje između atoma, a ne, primjerice iona i da ti atomi (uglavnom) pripadaju skupini nemetala. Međutim, definicija nije procijenjena potpuno točnom jer ne govori ništa o tome što veza jest (elektrostatsko međudjelovanje), odnosno jer joj nedostaje određenost kovalentne veze kao modela prema kojemu atomi dijele zajednički elektronski par.

Rezultati ispita znanja su iskazani u postocima točnih odgovora. Radi boljeg razumijevanja pojedini su sudovi potkrijepljeni citatima sudionika kojima su pridana izmišljena imena. Vjerojatnost povezanosti poznavanja značenja razmatranih pojmova i rješenja odgovarajućih zadataka provjeravana je χ^2 testom. Ovim se testom utvrđuje postoji li statistički značajna razlika između distribucija dviju varijabli. Temelj za računanje χ^2 testa je tablica vezanih frekvencija dviju varijabli. Te su tablice najčešće veličine 2×2 , odnosno obje varijable su izražene samo pomoću dvije kategorije. U provedenom testu to su dihotomne varijable odgovora *točno* i *netočno*. χ^2 je jedan od neparametrijskih testova koji ne počivaju na pretpostavkama o široj populaciji. Njihova je prednost da su skrojeni i upotrebljivi u vrlo specifičnim populacijama – na jednom razredu učenika, jednoj godini studenata, jednom stilu poučavanja (Cohen i sur., 2007.). U takvom se testu veličina učinka može izraziti pomoću nekoliko koeficijenata poput Cramerova V koeficijenta ili Cohenova w koeficijenta. U ovom je slučaju upotrijebljen koeficijent kontingencije C . On pokazuje stupanj povezanosti između varijabli koje su izražene pomoću kvalitativnih kategorija. Vrijednost koeficijenta kontingencije C od 0 do 1 označava rast vrijednosti obje varijable i upućuje na pozitivnu korelaciju. Vrijednost od 0 do -1 indicira porast jedne, a pad druge varijable te predstavlja negativnu korelaciju. Vrijednost 0 pokazuje nepostojanje linearne povezanosti.

Rezultati i rasprava

Kao što je ranije navedeno, u IA je trebalo definirati zadane pojmove, a u IB, uz ostalo, primijeniti poznavanje njihova značenja u rješavanju kemijskih problema. U nastavku ćemo prikazati rezultate IA. Navedeni su u Tablici 1.

S obzirom da smo odabrali uvriježene pojmove sadržaja o kemijskom vezivanju, nismo očekivali probleme u njihovom definiranju, posebice jer se propitivala najniža razina znanja. Međutim, rezultati nisu u skladu s očekivanjima. Najviše su poteškoća studenti iskazali objašnjavajući značenje termina *ionski karakter veze*. Približno petina njih uspješno je definirala taj pojam. 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 poistovjeći-

Tablica 1. Uspješnost definiranja pojmova *elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, afinitet za elektrone, ionski karakter veze i duljina veze.*

Zadatci	Rezultati							
	netočno		točno		djelomično		ukupno	
	n	%	n	%	n	%	n	%
1. Definirajte elektronegativnost.	18	48.6	12	32.4	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.	11	29.7	5	13.5	21	56.8	37	100.0
4. Definirajte afinitet za elektrone.	13	35.1	15	40.5	9	24.3	37	100.0
5. Objasnite pojam ionski karakter veze.	30	81.1	3	8.1	4	10.8	37	100.0
6. Definirajte pojam duljina veze.	17	45.9	11	29.7	9	24.3	37	100.0

vanja ionskog karaktera veze s *ionskom vezom koja uvijek posjeduje jasno definiran kation i anion.*

Gotovo polovica studenata nije znala objasniti značenje pojmova *elektronegativnost* i *duljina veze*. Većina studenta iz te grupe, elektronegativnost opisuje kao *snagu, energiju ili silu kojom atom privlači elektrone* odnosno *svojstvo elementa kojim se mjeri njihov afinitet prema elektronu*. Očito je da neki ne razlikuju elektronegativnost od elektronskog afiniteta.

Najviše djelomično točnih odgovora evidentirali smo kod zadataka u kojima je trebalo definirati kemijsku i kovalentnu vezu. Definicije tih pojmova često su neprecizne i nedorečene. Tako Dina, primjerice, kemijsku vezu definira kao *vezu koju uspostavljaju atomi nekih elemenata*, a kovalentnu vezu kao *vezu između atoma nemetala*. Uz analizu kemijskih udžbenika kao mogućih izvora površnog poimanja tih pojmova, ovaj problem zahtjeva dodatno istraživanje primjenom kvalitativnih metoda.

Najveći se broj točnih iskaza odnosi na definiranje pojma *afinitet za elektrone* (40,5%). Iako ni taj rezultat nije u skladu s očekivanjima, zapitali smo se, zašto je značenje pojma *afinitet za elektrone* studentima predstavljalo najmanji problem. Možemo samo spekulirati o mogućnosti da je intuitivnost pojma koja se ogleda u činjenici da riječ *afinitet* u ovom, kemijskom, smislu ima isto značenje kao i u svakodnevnom životu (sklonost prema nečemu, op. a.), utjecala na rezultat. Dakle, sam termin *afinitet za elektrone* upućuje na *sklonost prema elektronima*. Ipak, preciznosti radi, valja naglasiti da *afinitet za elektrone* označava količinu odnosno promjenu energije kada atom, molekula ili radikal primi elektron.

U nastavku ćemo analizirati rezultate IB-a. Prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Uspješnost rješavanja zadataka koji su vezani uz pojmove *elektronegativnost, kemijska veza, kovalentna veza, afinitet za elektrone, ionski karakter veze i duljina veze*.

Rb.	Zadatak (ili njegov početni dio)	Rezultati							
		netočno		točno		djelomično		ukupno	
		n	%	n	%	n	%	n	%
I a)	Zaokružite broj ispred formule za koju mislite da označava kovalentni spoj (BA, CA, CB).	34	97.1	1	2.9	-	-	35	100.0
I b)	Molimo vas, argumentima opravdajte svoj(e) odabir(e).	34	97.1	1	2.9	-	-	35	100.0
I c)	Zaokružite slovo ispred niza molekula koje su poredane prema povećanju ionskog karaktera veza između njihovih atoma.	16	45.7	19	54.3	-	-	35	100.0
II a)	Što predstavljaju crne točke na shematskom prikazu?	2	5.7	33	94.3	-	-	35	100.0
II b)	Što, na svakom od crteža, predstavlja pm vrijednost?	8	22.9	27	77.1	-	-	35	100.0
II c)	Kojom su vezom atomi u zadanim molekulama povezani?	7	20.0	28	80.0	-	-	35	100.0
III a)	Atom kojeg od ponuđenih elemenata, prema vašoj procjeni, ima visok afinitet za elektrone i energiju ionizacije?	8	22.9	27	77.1	-	-	35	100.0
III b)	Zaokruži broj iza kojeg je pravilno naznačena vrijednost elektronegativnosti atoma tog elementa.	9	25.7	26	74.3	-	-	35	100.0
III c)	Može li se takav atom kovalentno vezati s atomom nekog alkalijskog elementa?	16	45.7	19	54.3	-	-	35	100.0
IV	Objasni crtež uz pomoć kojeg ćeš opisati što je kemijska veza.	24	68.6			11	31.4	35	100.0
V a)	Što je prikazano na ordinati?	24	68.6	11	31.4	-	-	35	100.0
V b)	Što je prikazano na apscisi?	11	31.4	24	68.6	-	-	35	100.0

Točnost studentskih rješenja varira od zadatka do zadatka. Detaljnije ćemo analizirati rezultate prvog zadatka kojim se, u kontekstu elektronegativnosti, ispitivalo razumijevanje koncepata *kovalentni spoj* i *ionski karakter veze*.

U prvom je zadatku, dakle, trebalo odrediti koja formula, netipičnim oznakama prikazana, označava kovalentni spoj. Studenti su mogli primijeniti znanje o elektronegativnosti i/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: (*Zadani atomi 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 svijetlu 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, berilijevom kloridu), utemeljenost studentovog zaključka može se propitivati. Međutim, valja zaključiti da je u nedostatku podatka o razlici elektronegativnosti kojom određujemo vrstu veze, student primjenom pojednostavljenih modela izveo valjanu pretpostavku.

Iako je približno polovina studenata djelomično (18,9%) ili potpuno ispravno (32,4%) definirala elektronegativnost, rezultati zadatka I a) ukazuju da im (relativno) 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. Drugi, manji dio studenata, kovalentnim spojem uglavnom je smatrao onog koji je 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 I.* (BA; elektronegativnost atoma B je 2,5, a atoma A 3,5, op. a.) *se nameće kao logičan izbor.* Analizirajući Šiminu definiciju spekuliramo o logici njegova promišljanja – relativno visoke vrijednosti elektronegativnosti ukazuju da razmatrani atomi pripadaju nemetalima, a budući da je *kovalentna veza, veza među atomima nemetala*, molekula BA je kovalentna. Šimin rezultat, u slučaju BA molekule je valjan.

Ovdje ćemo se osvrnuti i na jedan detalj kojeg u analizi Šiminog promišljanja nismo uzeli u obzir. Pretpostavili smo 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 smijemo za-

nemarivati, već kod učenika i studenata, a posebice kod budućih nastavnika kemije, razvijati kulturu cjelovitog i preciznog izražavanja.

Analizom odgovora na prvi zadatak zaključujemo sljedeće:

- a) Dio studenata nema potrebno znanje o elektronegativnosti. Neki studenti elektronegativnost poistovjećuju s afinitetom za elektronom. Ovaj problem ima i semantički karakter jer se poteškoće kriju u nepoznavanju značenja pojma *elektronegativnost*.
- b) Studenti su zaboravili podatak o vrijednosti razlike elektronegativnosti atoma uz pomoć koje se, u pravilu, može procijeniti tip kemijske veze. Umjesto tog podatka, nudili su objašnjenja temeljem kojih smo uočili specifična poimanja o svezi elektronegativnosti i kovalentnog vezivanja koja nisu u skladu sa znanstveno prihvaćenim konceptima. Konkretno, dok većina studenata misli da se kovalentnima mogu smatrati samo spojevi građeni od atoma približnih vrijednosti elektronegativnosti, drugi smatraju da su kovalentni samo spojevi sastavljeni od atoma visokog koeficijenta elektronegativnosti. Oba se (neispravna) zaključka mogu dovesti u vezu s promišljanjem, koje najčešće datira s početka srednjoškolskog obrazovanja, da je kovalentna veza, (isključivo) veza između atoma nemetala. Iako takva generalizacija na početku može pripomoći u formiranju znanja o kemijskom vezivanju i strukturi tvari (i student koji je jedini uspješno determinirao sve kovalentne spojeve, vodio se njome), na sveučilišnoj je razini (pa već i na gimnazijskoj) takvu konceptualizaciju potrebno rekonstruirati.

O vrsti veze među česticama u spojevima treba suditi uzimajući u obzir koeficijente elektronegativnosti, odnosno svojstva i strukturu tvari. Studente, primjerice, treba dovesti u situaciju da promišljaju ima li smisla molekulu fluorovodika (HF) smatrati jedinkom čiji su atomi povezani kovalentnom vezom samo zato što je izgrađena od atoma nemetala ili bi molekule takvih spojeva, s obzirom na elektronegativnost atoma koji ih grade, dipolni moment te činjenicu da otapanjem u vodi (odnosno hidrolizom) nastaju ioni, mogli svrstati u posebnu kategoriju, primjerice polarnih tvari (čije su molekule građene od atoma povezanih polarnim vezama) ili polarnih kovalentnih tvari.

- 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 da nitko nije spomenuo niti iskoristio taj detalj u rješavanju 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 mole-

kula koje su poredane *prema povećanju* ionskog karaktera veze. Više od polovine studenata (54,3%) uspješno je riješilo zadatak. Rezultat je posebno zanimljiv ako ga povežemo s podatkom da je manje od 20% studenata točno ili djelomično precizno definiralo *ionski karakter veze*. Kako je to moguće? Jedini podatci o atomima u molekulama BA, CA i CB su vrijednosti njihovih elektronegativnosti. Stoga i nije neobično što su neki od studenta koji nisu znali objasniti termin *ionski karakter veze* upotrijebili razliku elektronegativnosti kako bi riješili zadatak. Zanimljivo je primijetiti da je šest studenata odabralo rješenje u kojemu je *ionski karakter veze* pravilno upotrijebljen kao kriterij po kojemu su nizane molekule, ali je smjer nizanja bio pogrešan. S obzirom na ograničenja instrumenta, možemo samo spekulirati kako na 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. Mali broj valjanih crteža, upućuje na potrebu češćeg i/ili sustavnijeg komuniciranja crtežima u nastavi kemije.

Odgovori na istraživačka pitanja

Kako bi odgovorili na istraživačko pitanje *U kakvoj je vezi uspješnost rješavanja problema kemijskog vezivanja i razumijevanje ključnih pojmova?*, poslužiti ćemo se tablicom 3. U njoj su prikazani točni i djelomično točni rezultati uparenih pitanja iz IA-a i IB-a. Pitanja su uparena prema kriteriju pojma na koji se odnose. Primjerice, prvim pitanjem iz IA-a se ispitalo razumijevanje pojma *elektronegativnost*, a prvim (pod a i b) i trećim (pod b) pitanjem iz IB-a, primjena znanja o elektronegativnosti.

U istoj smo tablici prikazali rezultate χ^2 testa i koeficijente kontigencije (c).

Analizom podataka utvrdili smo statistički značajnu povezanost umjerenih vrijednosti između varijabli koje se odnose na definiciju pojma *ionski karakter veze* i rješavanja pripadnog zadatka. Iako korelacijske analize mjere intenzitet povezanosti treba naglasiti da ova potvrđena povezanost ne podrazumijeva uzročnost. U slučajevima ostalih uparenih varijabli nema statistički značajne povezanosti.

Izostanak statističke značajnosti između znanja definiranja pojma i rješavanja odgovarajućeg zadatka ne bi trebao biti jedini razlog za zaključak o izostanku učin-

Tablica 3. Postotci točnih i (u zagradama) djelomično točnih odgovora na pitanja iz IA-a i IB-a, uparenih prema kriteriju pojma na koji se odnose, te rezultati hi-kvadrat testa i koeficijenti kontingencije.

Pojam	1. Ispit znanja (IA)		2. Ispit znanja (IB)					
	Varijabla	Rez. %	Varijabla	Rez. %	χ^2	df	C	p
Elektronegativnost	Zna definirati pojam	32,4 (18,9)	Zna prepoznati kovalentni spoj temeljem podataka o elektronegativnosti	2,9	1,97	2	0,23	0,37
			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 afinitet za elektrone 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 pm koristi kao jedinica za duljinu veze	77,1	2,59	2	0,26	0,27

* df = stupanj slobode; C = koeficijent kontingencije; p = značajnost koeficijenta

ka, kao što ni statistička značajnost ne bi trebala biti jedino opravdanje za zaključak o postignutom učinku. Statističku analizu smatramo "alatom" kojim se usmjerava, a ne utvrđuje tumačenje podataka. Ipak, uočeni problem zaslužuje pozornost pa ćemo razmotriti utjecaj triju čimbenika koji su na takav rezultat mogli utjecati. To su: (a) deklarativno znanje o ključnim pojmovima, a time i nemogućnost primjene znanja, (b) povezanost uparenih zadataka iz IA i IB i (c) veličina uzorka.

(a) Uspješno definiranje pojma ne implicira nužno i razumijevanje njegova konceptualnog značenja. To znači da se od studenata s deklarativnim znanjem o, primjerice, elektronegativnosti, mogu očekivati problemi u primjeni znanja tijekom rješavanja kognitivno složenijih zadataka. Stoga nije neobično što je oko 50% studenata potpuno ili djelomično uspješno definiralo elektronegativnost, a svega 2,9% prepoznalo kovalentni spoj temeljem podataka o elektronegativnosti, odnosno ispravno argumentiralo zašto neki spoj smatraju kovalentnim. Neočekivan je, pak, relativno mali broj studenata koji su uspješno definirali elektronegativnost kao i činjenica da je samo jedan student uspješno primijenio to znanje.

(b) Značajka uparenih testova koje smo koristili u ovom istraživanju jest utvrđivanje veze između poznavanja značenja zadanog pojma i uspješnosti primjene tog znanja u rješavanju odgovarajućeg zadataka. 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 IB-a multikonceptualni, što znači da za njihovo rješavanje nije dovoljno znanje promatranog pojma (koncepta) već i znanje drugih pojmova koji su s njim povezani. Iako smo ovakve okolnosti nastojali svesti na najmanju moguću mjeru, pridajući dominantni značaj ključnom pojmu, nismo ih mogli potpuno izbjeći.

Nadalje, neki su zadatci kontekstualno određeni pa treba uzeti u obzir da na uspješnost njihova rješavanja može utjecati i razumijevanje konteksta. Također, različiti su zadatci prezentirani različitim modulima komunikacije: neki od njih su tekstualni, drugi se temelje na crtežima, treći na grafičkim prikazima. Za pretpostaviti je da na uspješnost pojedinog studenta donekle može utjecati bolje ili lošije snalaženje u okruženju tekstualnih, shematiziranih ili grafičkih formata.

Dakle, izostanak statističke veze između znanja definiranja ključnog pojma i rješavanja pripadnog zadatka može biti uzrokovan nerazumijevanjem perifernih pojmova koji su sa ključnim povezani u zadatku, nesnalaženjem u kontekstu zadataka i problemima s modulima 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. Najčešći razlog provođenja analize snage testa jest određivanje veličine uzorka potrebnog za određeno istraživanje (McHugh, 2008.).

Provedba ovog istraživanja na većem broju studenata rezultirala bi uvjerljivijim zaključcima o statističkom značaju povezanosti promatranih varijabli.

Iz rezultata (Tablica 3) je vidljivo da veliki broj studenata ima poteškoća s definiranjem temeljnih pojmova te da u slučaju pojmova *ionski karakter veze*, *duljina veze* pa čak i *afinitet za elektrone* te *kovalentna veza* (ako ne uzmemo u obzir djelomično točne odgovore), uspješnije rješavaju kognitivno složenije probleme nego što definiraju njihovo značenje. Kod rezultata koji se odnose na pojam *elektronegativnost*, situacija je drugačija. Primjena značenja tog pojma u kontekstu kovalentnog spoja (prilikom njegove determinacije) bila je znatno manje uspješna u odnosu na uspješnost njegova definiranja. S druge strane 1' studenata je znalo 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 o kemijskom vezivanju?; Zašto su neki od njih uspješniji u rješavanju složenijih zadataka nego u definiranju određenih 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 možemo odgovoriti samo provedbom novog, kvalitativnog istraživanja. Ono što ovdje možemo razmotriti jest valjanost naše premise da je opis značenja pojma pokazatelj deklarativnog znanja. Naime, ako reproduciramo definiciju tada pokazujemo znanje najniže razine. Međutim, ovdje se može 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 ćemo iznijeti spoznaje do kojih smo došli odgovarajući na drugo istraživačko pitanje: *Koji se jezični problemi mogu prepoznati analizom odgovora uparenog testa o kemijskom vezivanju?*

Prije svega, uočili smo da neki od studenata iskazuju poteškoće prilikom definiranja zadanih pojmova. U njihovim se definicijama često prepoznaje problem smisla („ionski karakter veze je veza...“), problem (ne)određenosti („ionski karakter veze je kada je...“) i problem značenja (elektronegativnost je isto što i afinitet za elektrone). Čini se da uporaba riječi koja ima isto značenje u svakodnevnom životu i u znanosti (poput riječi *afinitet*) pridonosi lakšem razumijevanju značenja znanstvenog pojma (afinitet za elektrone). Nadalje, pokazalo se da su izraz *prema povećanju*, kod nizanja molekula s obzirom na ionski karakter veze među njihovim atomima, neki studenti protumačili u suprotnom značenju (prema smanjenju). Rezultati indiciraju kako je simbolički prikaz molekula elementarnih tvari, kao dio jezika kemije, bio od značaja za razumijevanje i uspješno rješavanje problema vezanog uz *duljinu (kovalentne) veze*. Konačno, pokazalo se da nekolicina studenata miješa značenja pojmova *apscisa* i *ordinata*.

Evidentirane jezične poteškoće jedan su od uzroka relativno male uspješnosti studenata u definiranju pojmova i rješavanju problema danih u ispitu znanja IB. Upoznavanje s opisanim problemima može pozitivno utjecati na porast svijesti o važnosti valjane i precizne uporabe jezika u nastavi o kemijskim vezama. Rezultati upućuju da, u cilju povećanja efikasnosti nastave, posebnu pozornost treba posvetiti problemima smisla, neodređenosti i značenja definicija. To posebno vrijedi za buduće nastavnike jer je njihov zadatak, između ostalog, učenicima omogućiti izgradnju valjanih predodžbi i funkcionalnog znanja. Taj put kojim se izbjegavaju pogrešna poimanja, započinje upravo definiranjem, odnosno razumijevanjem značenja temeljnih pojmova.

Zaključak

Ovim istraživanjem nije utvrđena čvrsta veza između poznavanja značenja pojmova *elektronegativnost*, *kemijska veza*, *kovalentna veza*, *afinitet za elektrone*, *ionski karakter veze* 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 kognitivno složenijih zadataka. Rezultati ukazuju na potrebu restrukturiranja znanja o kemijskom vezivanju budućih nastavnika kemije. U tom procesu posebnu pozornost treba posvetiti problemima smisla, neodređenosti i značenja definicija. Također, važno je voditi računa o pozornoj uporabi znanstvenog i simboličkog jezika, ali i 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*, *afinitet za elektrone*,

ionski karakter veze i ionska veza te prepoznate jezične prepreke doprinose su razvoju metodičkog znanja o kemijskom vezivanju.⁴

Literatura:

- Cohen L., Manion L. i Morrison K. (2007.). *Metode istraživanja u obrazovanju*. Jastrebarsko: Naklada Slap.
- Coll, R. K. i 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. i Treagust, D. F. (2001.). Learners' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31, 357-382.
- Johnstone, A. H. i Selepeng, D. (2001.). A language problem revisited. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(1), 19-29.
- McHugh, M. (2008.). Power analysis in research. *Biochemia medica: Biochemia medica*, 18(3), 263-274. Preuzeto s <http://hrcak.srce.hr/27332>. (18.1.2017.)
- Özmen, H. (2004.). Some Student Misconceptions in Chemistry: A Literature Review of Chemical Bonding, *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 147-159.
- Taber, K. S., i Coll, R. (2002.). Chemical Bonding. U: J.K. Gilbert i sur., (ur.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (str. 213-234). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Taber, K. S. (2002.). *Misconceptions in chemistry – prevention, diagnosis and cure*. London: Royal Society of Chemistry.
- Taber, K. S., Tsaparlis, G. i Nakiboğlu, C. (2012.). Student Conceptions of Ionic Bonding: Patterns of thinking across three European contexts. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2843-2873.
- 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.
- Tan, K. C. D. i Treagust, D. F. (1999.). Evaluating students' understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81(294), 75-83.
- Vladušić, R. i Lozo, M. (2011.). Usvojenost koncepta kovalentne veze u svijetlu iskaza učenika o učenju i poučavanju kemije. *Školski vjesnik*, 60(3), 329-347.
- 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.
- Wellington, J. i Osborne J. (2001.). *Language and literacy in science education*. Buckingham – Philadelphia: Open University Press.

⁴ Ovaj je članak rezultat šireg istraživanja koje se na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Splitu provelo u cilju izrade doktorske disertacije. Sve je izvedeno u skladu s relevantnim pravilima i institucionalnim uputama. Dozvolu za istraživanje 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).

Prilozi

a) Ispit A, IA

Definirajte elektronegativnost.

Definirajte pojam „kemijska veza“.

Definirajte pojam „kovalentna veza“.

Definirajte afinitet za elektrone.

Objasnite značenje pojma „ionski karakter veze“.

Definirajte pojam „duljina veze“.

b) Ispit B, IB

I) 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:

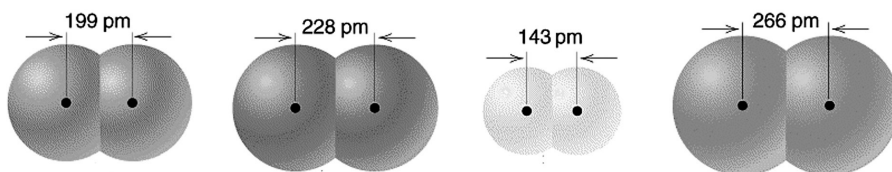
1. BA 2. CA 3. CB

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 visoki **afinitet za elektrone** 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. Objasni 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 prediplomskog studija što je kovalentna veza. Označi i imenuj ključne elemente svog crteža.

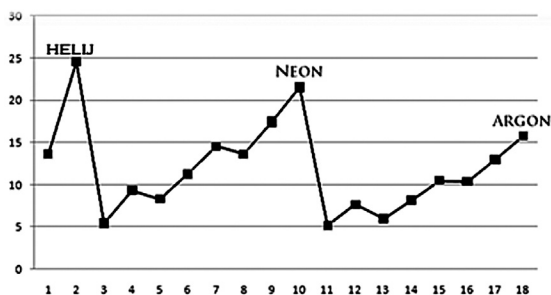
a) Je li veza između atoma na crtežu polarna? Zaokruži broj ispred točnog odgovora.

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. afinitet za elektrone;
3. protonski broj; 4. energija ionizacije

b) Što je prikazano na apscisi?

1. elektronegativnost; 2. afinitet za elektrone;
3. protonski broj; 4. energija ionizacije

Odgovori

a) Ispit A, IA

1. Elektronegativnost je *sposobnost (težnja)* atoma da k sebi privuče zajedničke elektrone iz kemijske veze koju ostvaruje s drugim atomom.
2. Kemijska veza je odgovarajuća elektrostatska interakcija koja nastaje kao posljedica *težnje* atoma za ostvarivanjem stabilnijeg energetskog stanja, odnosno privlačenjem suprotno nabijenih iona.
3. Kovalentna veza je model kojim se interakcije atoma opisuju kao dijeljenje zajedničkog elektronskog para.
4. Afinitet za elektrone je mjera za težnju izoliranog atoma za privlačenjem elektrona. Afinitet za elektrone je promjena energije koja se odvija kada atom, molekula ili radikal primi elektron.
5. Ionski karakter veze je izraz koji ukazuje na polarnost kovalentne veze. Za kovalentnu vezu možemo reći da ima određeni ionski karakter ako je razlika elektronegativnosti između vezujućih atoma od 0,3 – 1,6. Što je ta razlika bliža vrijednosti 1,6 to je ionski karakter veze veći.
6. Duljina veze je udaljenost između jezgara dvaju kovalentno povezanih atoma u molekuli.

b) Ispit B, IB

I a) 1, 2, 3;

b) Sva tri spoja su kovalentna jer je razlika elektronegativnosti međusobno povezanih atoma manja od 1,6 (1,7 ili 2,0);

c) 1

II a) 3; b) 1; c) 1

III a) 2; b) 3; c) 2

V a) 4; b) 3.

Is there the relationship between understanding of the chemical bonding terms and successfulness of solving related instructional problems

Abstract

A special attention in pre-service teachers' courses should be given to the pedagogical content knowledge construction. That need relates in particular to the fundamental chemistry topics. In that process, between other things, a special care should be devoted to the subject matter knowledge and careful usage of language. Considering previous, we designed the research which resulted with information about pre-service chemistry teachers' subject matter knowledge. More specifically, we investigated is there a relationship between understanding the terms electronegativity, chemical bond, covalent bond, electron affinity, ionic bond's character and ionic bond, on the one side, and success of solving selected instructional problems based on those terms, on the other side. Also, data collected by research instrument were analysed in the search for recognition of language issues which could influence chemical bonding understanding and tests' results. Results indicate that reconstruction of some pre-service chemistry teachers' chemical bonding knowledge is needed. Also, more attention should be paid to the understanding of the selected terms related to the chemical bonding as well as to the other aspects of language of the chemical bonding instruction.

Keywords: chemical bonds, language in chemistry instruction, pre-service chemistry teachers, subject matter knowledge