

Analiza uloge čestičnog crteža u nastavi kemije i njegova primjena za unaprjeđenje konceptualnog znanja

UDK: [371.3:54]:37.025
Izvorni znanstveni članak
Primljeno: 15.09.2015.



Sanda Šimičić¹
OŠ *Split 3*, Split
sandasimicic@yahoo.co.uk



Izv. prof. dr. sc. Draginja Mrvoš-Sermek²
PMF Sveučilišta u Zagrebu
mrvos@chem.pmf.hr

¹ Sanda Šimičić je učiteljica prirode, kemije i biologije. Studentica je treće godine doktorskog studija "Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti", usmjerenje Kemija na PMF-u Sveučilišta u Splitu. Glavna područja znanstvenog interesa vezana su joj za konceptualno razumijevanje temeljnih kemijskih koncepata i primjenu čestičnog crteža u nastavi kemije. Koautorica je udžbenika, radnih bilježnica, ispita znanja, priručnika i dodatnih materijala iz kemije za osnovnu školu.

² Draginja Mrvoš-Sermek radi u Zavodu za opću i anorgansku kemiju na Kemijskom odsjeku. Glavna područja rada i interesa su joj rendgenska strukturna analiza organometalnih spojeva i malih molekula od biološkog i farmakološkog značaja, edukacijska istraživanja i nastavna praksa te popularizacija kemije. Sudjeluje kao član ili voditelj stručnih radnih skupina ili povjerenstava u mnogim aktivnostima MZOS/AZOO/NCVVO koje se odnose na odgojno-obrazovne promjene u području nastave kemije. Vanjski je suradnik na poslijediplomskom studiju "Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti" pri PMF-u Sveučilišta u Splitu, član je Hrvatskog kemijskog društva i Hrvatske udruge kristalografa.

Sažetak

Kemija zbog svoje apstraktne prirode predstavlja težak nastavni predmet. Zadaća nastavnika je, između ostalog, različitim didaktičkim strategijama omogućiti učenicima razumijevanje apstraktnih pojmova. Jednadžba kemijske reakcije predstavlja složen temeljni koncept čije razumijevanje nije moguće ukoliko nije usvojen niz drugih koncepata. Jedan od mogućih načina da se učenicima modelom približi čestična građa tvari te kemijska promjena je i uporaba čestičnog crteža. Poticaj ovom edukacijskom istraživanju bili su rezultati provjere konceptualnog razumijevanja jednadžbe kemijske reakcije čestičnim crtežom (Nurrenbern i Pickering, 1987., 509). Prepoznate su brojne poteškoće u shvaćanju značenja jednadžbe kemijske reakcije u populaciji učenika, studenata i nastavnika što je poslužilo osmišljavanju metodičkog znanja koje je učenicima na elementarnoj razini obrazovanja pomoglo vizualizirati čestice koje sudjeluju u kemijskoj reakciji. Također, predložene su nastavne metode čiji je krajnji rezultat unaprjeđenje konceptualnog znanja čime bi se olakšalo usvajanje kemijskih koncepata na višim obrazovnim razinama.

Ključne riječi: nastava kemije, jednadžba kemijske reakcije, čestični crtež, konceptualno znanje.

1. Uvod

Kemija je praktičan nastavni predmet čiji su sadržaji primjenjivi u nizu svakodnevnih situacija, no njihovo usvajanje za učenike je teška zadaća. Odvija se na tri jednako važne razine koje se međusobno nadopunjuju: makroskopskoj, submikroskopskoj (čestičnoj) i simboličkoj (Johnstone, 1991.). Većina učenika na makroskopskom nivou poimanja tvari iskustvenim učenjem kroz pokuse i njihovom analizom uspješno usvaja i razlikuje temeljne kemijske pojmove. Opažanja ove razine pokušavaju se učenicima objasniti na submikroskopskoj razini uporabom čestičnih modela kojim se vizualiziraju apstraktni pojmovi atoma, molekula i iona te njihova međudjelovanja (Prilliman, 2014., 1291). Simbolička razina omogućava kemičarima jednostavnu i praktičnu komunikaciju ponajprije putem simbola kemijskih elemenata, kemijskih formula i jednadžbi kemijskih reakcija, a potom i grafičkih prikaza, različitih modela, matematičkih formalizama, računalnih animacija, shema i sl.

Jednadžba kemijske reakcije simbolički je način opisivanja kemijske reakcije. Predstavlja složen temeljni koncept čije razumijevanje nije moguće ukoliko nije usvojen niz drugih koncepata. Početnicima u učenju može predstavljati konceptualni izazov no vježbanjem zadataka rješavanje postaje algoritamsko i rutinsko

(Nyachwaya, Warfa, Roehrig i Schneider, 2014., 82). Istraživanja provedena u posljednjih 30-ak godina nedvojbeno su utvrdila da učenici savladavaju stehiometrijske zadatke koji zahtijevaju algoritamsko rješavanje na simboličkoj razini no istovremeno ne razumiju čestičnu prirodu promjene i ne postižu konceptualno razumijevanje kemijskih sadržaja koje je najčešće rezultat primjene stečenih znanja (Barke, Hazari i Yitbarek, 2009.; Basil i Sanger, 2012.; Sanger, 2007.). Konceptualni zadatci su zadatci koji učenike potiču na razumijevanje kemijskih sadržaja čime se olakšava njihovo usvajanje i usustavljanje znanja te postiže pozitivna retencija znanja (Nurrenbern i Robinson, 1998.). Većina konceptualnih zadataka uključuje tri oblika prikazivanja: makroskopsku, čestičnu i simboličku. Jedan od mogućih načina da se učenicima modelom približi čestična građa tvari te kemijska promjena je i uporaba čestičnog crteža, dvodimenzionalnog modela koji pomaže učenicima da vizualiziraju nevidljivi svijet čestica. Primjenjiv je na svim obrazovnim razinama i koristan alat pri:

- (a) analizi i provjeri usvojenosti kemijskih sadržaja i pojmova (Bodner i Domin, 2000.; Gulpe, Celik i Kilic, 2013.)
- (b) otkrivanju pogrešnih predkonceptata i alternativnih konceptata u mnogim nastavnim temama (Bridle i Yeziarski 2012.; Devetak, Drofenik Lorber, Jurišević i Glažar, 2009.; Naah i Sanger, 2012.)
- (c) unapređenju usvajanja kemijskih znanja do konceptualnog razumijevanja sadržaja i pojmova (Warfa, Roehrig, Schneider i Nyachwaya, 2014.; Yitbarek, 2011.).

2. Metodologija

Poticaaj ovom edukacijskom istraživanju (kvazieksperimentu) bili su rezultati vlastitih i jednim dijelom ranije provedenih provjera konceptualnog razumijevanja jednadžbe kemijske reakcije na uzorku prikazanom u tablici 1 (Mrvoš-Sermek, Tašner i Radanović, 2009., 317; Vrbičić, 2009.).

Tablica 1. Pregled broja testiranih ispitanika

Skupina ispitanika	Broj ispitanika
Učenici osmog razreda iz 11 hrvatskih osnovnih škola	367
Brucoši Kemijskog i Biološkog odsjeka PMF-a u Zagrebu	310
Studenti Metodike nastave kemije PMF-a u Zagrebu	92
Nastavnici osnovnih i srednjih škola	180
Ukupno	949

U navedenim istraživanjima korišten je konceptualni zadatak Nurrenberna i Pickeringa (1987., 509) prikazan čestičnim crtežom (slika 1). Rezultati su pokazali da učenici, studenti i nastavnici ne razumiju u potpunosti koncept jednadžbe kemijske reakcije što nas je potaklo na osmišljavanje kvaziekperimenta koji bi unaprijedio konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije.

Cilj istraživanja bio je utvrditi kako primjena čestičnog crteža utječe na kvalitetu konceptualnog razumijevanja učenika osmih razreda osnovne škole. Iz navedenog cilja proizašla su sljedeća istraživačka pitanja:

1. Kako se mijenja konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije na čestičnoj razini od predtesta do odgođenog posttesta kod učenika osnovne škole?
2. Kako se razlikuju kontrolna (klasično poučavanje uz simbolički zapis) i eksperimentalna (poučavanje uporabom čestičnog crteža prije simboličkog zapisa) skupina učenika osnovne škole u konceptualnom razumijevanju jednadžbe kemijske reakcije prije i nakon poučavanja?

Glavni izvor podataka u istraživanju bio je kvaziekperiment proveden tijekom školske 2014./2015. godine. Predtest je proveden u rujnu 2014., a posttest u travnju 2015. godine. Uzorak za kvaziekperiment kojim se namjerno izazvala promjena je neslučajan prigodni uzorak učenika osmih razreda osnovnih škola u Zagrebu, Splitu i Osijeku (tablica 2).

Tablica 2. Pregled broja testiranih učenika eksperimentalne i kontrolne skupine po školama.

	Osnovna škola	Broj učenika
Eksperimentalna skupina	OŠ Split 3-Split	72
	OŠ Gustav Krklec-Zagreb	73
	OŠ Sućidar-Split	96
	OŠ Franje Krežme-Osijek	42
Ukupno		283
Kontrolna skupina	OŠ Ivana Gorana Kovačića-Zagreb	61
	OŠ Mejaši-Split	43
	OŠ Blatine-Škrape-Split	46
	OŠ Spinut-Split	76
	OŠ Ivan Filipović-Osijek	72
Ukupno		298

Prije primjene eksperimentalnih čimbenika utvrđeno je da su učenici eksperimentalne i kontrolne skupine ujednačeni po ocjeni iz kemije na kraju 7. razreda i predznanju koje se odnosi na koncept jednadžbe kemijske reakcije. Tijekom 15 nastavnih sati učenici su usvajali sadržaje iz područja vodenih otopina kiselina, baza i soli pri čemu su različite vrste kemijskih reakcija prikazivali jednadžbama (oksidacija, disocijacija, dobivanje soli itd.). U eksperimentalnim skupinama učenika koristila se strategija učenja otkrivanjem uz uporabu čestičnog crteža kao nastavnog sredstva. Primjena ove strategije aktivnog učenja omogućila je učenicima istraživanje i razvijanje prethodno navedenih koncepata. Vlastitom aktivnošću učenici su uočili kemijski problem, definirali ga, pronašli rješenja te izveli zaključke. Takvo učenje oslanja se na vlastito iskustvo učenika pa se naziva još i iskustvenim učenjem. Aktiviranje sudionika odgojno-obrazovnog procesa postiglo se strategijom primjerenom malim skupinama – radionica (workshop). Skupine su brojale 4-5 učenika koji su međusobno surađivali pri izvođenju pokusa, kritički preispitivali rezultate, a konačni zaključci i rješenja donosili su se diskusijom unutar skupine, a potom i među skupinama. Makroskopska opažanja prikazivala su se na submikroskopskoj razini čestičnim crtežom i potom popratila simboličkim zapisom, jednadžbom kemijske reakcije. U kontrolnim skupinama nastavu su provele učiteljice prema vlastitom odabiru didaktičkih strategija, a prema prijedlozima i preporukama za metodičku obradu iz *Hrvatskog nacionalnog obrazovnog standarda* (2004.) i *Nastavnog plana i programa za osnovnu školu* (2006.). Kako se nastavni sadržaji eksperimentalnih odjela ne bi prenijeli u kontrolne odjele, kontrolne skupine su se nalazile u drugim školama. Instrumenti kojima su se prikupili podatci o tome je li primjena čestičnog crteža omogućila višu razinu kvalitete znanja su preliminarna pisana provjera znanja (*Pisana provjera usvojenosti koncepta jednadžbe kemijske reakcije čestičnim crtežom*) i završna pisana provjera znanja (*Pisana provjera usvojenosti temeljnih kemijskih koncepata – jednadžba kemijske reakcije; vodene otopine kiselina, baza i soli*). Za izradu navedenih ispita znanja i sposobnosti koristili su se objavljeni zadatci iz svjetskih baza konceptualnih zadataka za određenu dob učenika te autorski zadatci kreirani na temelju rezultata ranije spomenutih istraživanja u nastavničkoj, studentskoj i učeničkoj populaciji. U ispitima znanja i sposobnosti bili su zastupljeni konceptualni zadatci zatvorenog i otvorenog tipa, slikovni i verbalni zadatci.

3. Rezultati i diskusija

Zadatak 1 tražio je od ispitanika da izaberu jednadžbu kemijske reakcije koja odgovara submikroskopskom prikazu kemijske reakcije (slika 1). Da bi ga ispravno riješili ispitanici trebaju razumjeti značenje pojmova koeficijent i indeks te poznavati omjer masa u kojem se reaktanti spajaju da bi nastali produkti reakcije.

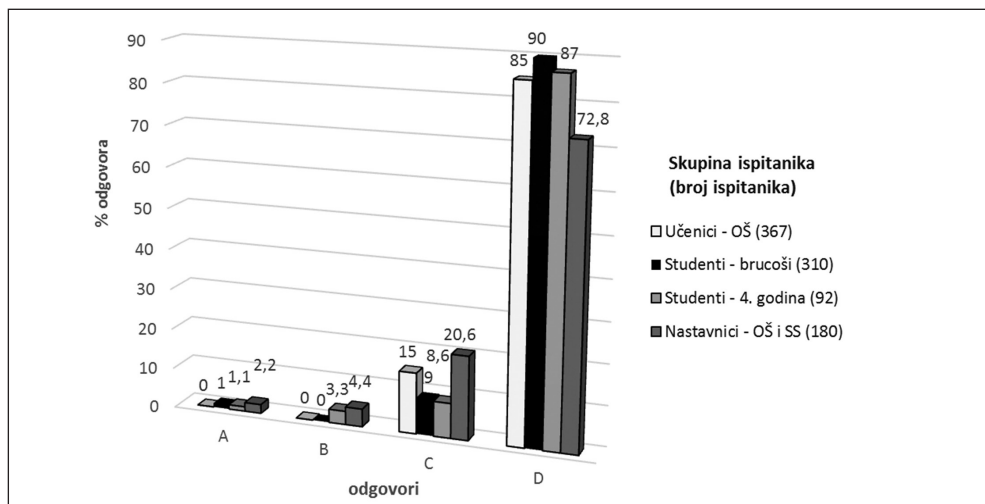
Zadatak 1
 Reakcija atoma elementa X (□) s atomima elementa Y (○) prikazana je crtežom na sljedećoj slici. Koja jednadžba kemijske reakcije opisuje prikazanu promjenu?

A $3X + 8Y \rightarrow X_3Y_8$ B $3X + 6Y \rightarrow X_3Y_6$
 C $X + 2Y \rightarrow XY_2$ D $3X + 8Y \rightarrow 3XY_2 + 2Y$

Objasnite izbor odgovora.

Slika 1. Konceptualni zadatak višestrukog izbora koji su koristili Nurrenbern i Pickering (1987.), Sanger (2005.) i Sawrey (1990.) u svojim radovima.

Iznenaduje činjenica da su učenici osmih razreda (15,0%) uspješniji od populacije studenata 4. godine jer ih je svega 8,6% izabralo točan crtež (slika 2).



Slika 2. Raspodjela odgovora u zadatku 1 za različite skupine ispitanika. Točan odgovor je C.

Najčešća obrazloženja i pogrešna poimanja nastavnika i studenata su:

Odgovor A

- odnos broja atoma reaktanata 3:8 odgovara reakcijskom sustavu pri čemu je zadovoljen zakon o očuvanju mase (iako je iz crteža vidljivo da je u produktu omjer broja elemenata X i Y u kemijskom spoju 1:2, a ne 3:8)

Odgovor B

- nastanak trimera proizlazi iz jednadžbe $3X + 8Y \rightarrow (XY_2)_3 + 2Y$ pri čemu se navedeni simbolički prikaz B dobije tako da se 2Y s lijeve i desne strane jednadžbe pokrate

Odgovor D

Najveći broj ispitanika izabrao je odgovor D (83,7%) koji poistovjećuje reakcijski sustav s jednadžbom kemijske reakcije.

Tablica 3. Najčešća pogrešna poimanja i obrazloženja za odgovor D

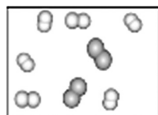
Pogrešna poimanja	Obrazloženja
Nerazlikovanje jednadžbe kemijske reakcije od reakcijskog sustava	<ul style="list-style-type: none"> – produkti su smjesa tvari i to kemijskih spojeva i elementarnih tvari – desna strana jednadžbe kemijske reakcije sadrži suvišak reaktanta koji se smatra produktom – odgovor D jedini prikazuje broj molekula produkata – „poštuje“ se jednadžba tj. broj i vrsta jedinki lijevo i desno je jednak;
Pogrešna uporaba kemijske terminologije	<ul style="list-style-type: none"> – početni spoj se sastoji od 3 atoma X i 8 atoma Y – nastaju 3 molekule XY_3 i 2 atoma Y – dolazi do nastajanja tri kemijska spoja i jednog kemijskog elementa – 3 molekule X se spajaju s 8 molekula Y i nastaju 3 molekule XY_2 i 2 molekule Y

Rezultati se podudaraju s rezultatima Nurrenberna i Pickeringa (1987.) koji su utvrdili da je 17,5% studenata opće kemije izabralo točan odgovor. 12% točnih odgovora studenata rezultat je istraživanja koje je proveo Sawrey (1990.). Isti zadatak koristio je i Sanger (2005.) u analizi i provjeri konceptualnog znanja studenata opće kemije, a rezultat je bio 15% točnih odgovora.

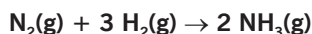
Zadatak 2

Čestični crtež prikazuje reaktante, N_2 i H_2 u zatvorenoj posudi.

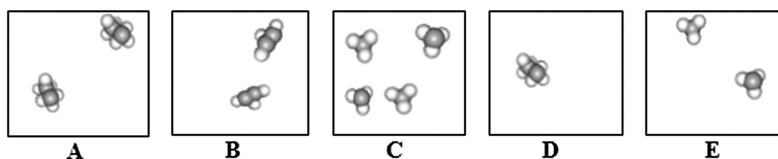
Legenda: ● model atoma dušika ○ model atoma vodika



Pretpostavi da su prikazane tvari u potpunosti reagirale prema jednadžbi kemijske reakcije:



Koji čestični crtež od **A–E** točno prikazuje broj i vrste čestica **nakon reakcije**?



Slika 3. Konceptualni zadatak višestrukog izbora korišten u predtestu eksperimenta

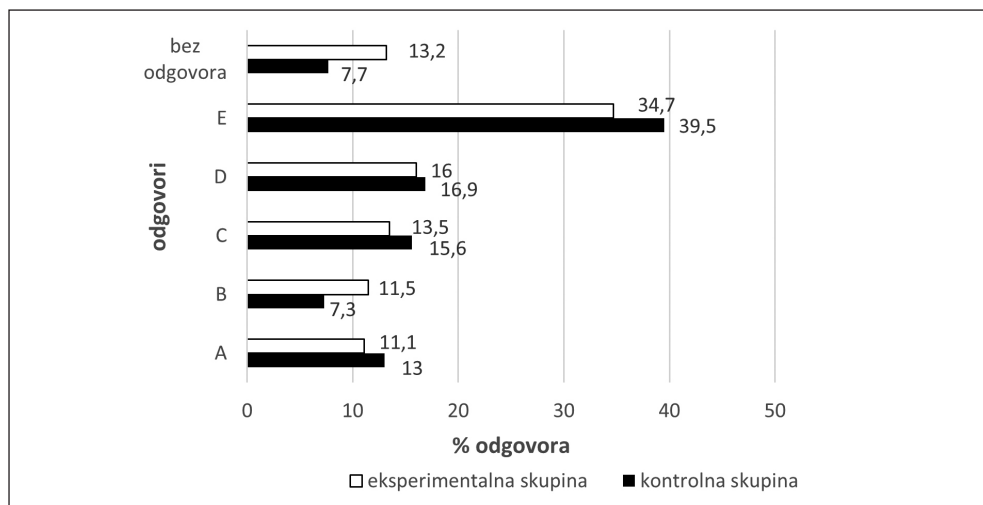
Opisani rezultati, iznimno loši za navedene populacije, potaknuli su provedbu kvazieksperimenta.

U zadatku 2 učenici su trebali uočiti razliku između jednadžbe kemijske reakcije (jedinične pretvorbe) i "reakcijskog sustava"³ koji broji dvostruko više čestica iz čega proizlazi i dvostruko veći broj čestica produkata od onog u simboličkom zapisu jednadžbe kemijske reakcije (slika 3). Kao i u prethodnom zadatku i u ovom učenici trebaju razumjeti značenje koeficijenta, indeksa te poznavati zakon o očuvanju mase.

Na temelju rezultata prikazanih na slici 4 zaključujemo da je kontrolna skupina (15,6 %) uspješnija u odnosu na eksperimentalnu (13,5 %). χ^2 testom utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika u proporciji odgovora između kontrolne i eksperimentalne skupine ($\chi^2=12,087$; $p=0,060$).

Samo je 14,6% ukupnog broja učenika izabralo točan odgovor. Odgovori A, B, i D ukazuju na učeničko nerazumijevanje razlike između koeficijenta 2 i indeksa 3 u izrazu $2 NH_3$. Obje skupine u većem postotku birale su netočne odgovore D i E u kojima je broj čestica atoma dušika i vodika jednak kao i u jednadžbi kemijske reakcije. U odgovoru D učenici su pretpostavili isti broj dušikovih i vodikovih atoma kao u jednadžbi kemijske reakcije pri čemu su u potpunosti zanemarili koeficijent.

³ Reakcijski sustav prikazan čestičnim crtežom predstavlja samo vrstu i brojevi odnos jedinica u realnom sustavu.



Slika 4. Raspodjela odgovora u zadatku 2. Točan odgovor je C.

Zadatak 3
 Reakcijom vodika i klora nastaje klorovodik. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{HCl}(\text{g})$
 U prazan pravokutnik nacrtaj točan broj molekula produkta uz pretpostavku da su tvari u reakcijskom sustavu potpuno reagirale.
 Legenda: model molekule vodika model molekule klora

Slika 5. Konceptualni zadatak otvorenog tipa korišten u posttestu eksperimenta

Odgovor E izabralo je 39,5 % učenika kontrolne i 34,7 % eksperimentalne skupine vodeći se koeficijentom nastalog produkta u jednadžbi kemijske reakcije, a ne „brojem čestica u reakcijskom sustavu“ pri čemu nije zadovoljen zakon o očuvanju mase. Navedeni rezultati slažu se s rezultatima prethodno provedenih istraživanja (Davidowitz, Chittleborough i Murray, 2010.; Yarroch, 1985.) u kojima su korišteni slični konceptualni zadatci.

Zadatak 3 od učenika je zahtijevao crtanje produkata prema zadanom reakcijskom sustavu (slika 5). Provjeravao je sposobnost učenika da čestičnim crtežom prikaže kemijsku reakciju na submikroskopskoj razini. Kao i u prethodnom zadatku broj molekula reaktanata u reakcijskom sustavu dvostruko je veći u odnosu na jednadžbu kemijske reakcije.

Dvostruko veći broj učenika eksperimentalne skupine (55,8 %) točno je nacrtao produkte u odnosu na učenike kontrolne skupine (27,9 %).

Tablica 4. Raspodjela odgovora u zadatku 3 ($p < ,001$).

Skupina	Broj učenika	Broj (brojevni udio u %) ^a	M	SD	t-vrijednost	p
Kontrolna	298	83(27,9)	,826	1,58	3,526	0,000
Eksperimentalna	283	158(55,8)	1.28	,93		

a-broj i brojevni udio učenika koji su točno riješili zadatak

Tablica 5. Primjeri učeničkih crteža koji prikazuju najčešća pogrešna poimanja u crtanju produkata navedene kemijske reakcije

Simbolički prikaz	Čestični crtež	Uočena pogrešna poimanja
$2 \text{H}_2\text{Cl}_2$		Pogrešan prikaz molekula klorovodika nastao vezanjem atoma vodika na molekule klora, broj molekula odgovara jediničnoj pretvorbi.
2HCl		Broj molekula produkata odgovara jednadžbi kemijske reakcije (jediničnoj pretvorbi) ali ne i reakcijskom sustavu, nepoštovanje zakona o očuvanju mase.
$5 \text{H}_2\text{Cl}$		Pogrešan prikaz molekula klorovodika, nepoštovanje zakona o očuvanju mase.
$2 \text{HCl}_2 + \text{H}_2$		Pogrešan prikaz molekula klorovodika, nastali produkti su kemijski spoj i elementarna tvar, poštovan zakon o očuvanju mase.
$4 \text{H} + 4 \text{Cl}$		Produkt predstavlja udruživanje atoma iste elementarne tvari, a ne nastanak kemijskog spoja.

T-testom je utvrđeno da nakon primjenjene didaktičke strategije postoji statistički značajna razlika u proporciji odgovora između kontrolne i eksperimentalne skupine ($t = 3,526$; $p = 0,000$), odnosno da je eksperimentalna skupina statistički značajno bolja (tablica 4). Razlika u rezultatima kontrolne i eksperimentalne skupine u zadatku 2 (predtest) i zadatku 3 (posttest) upućuju na konceptualnu promjenu u

Tablica 6. Prikaz rezultata predtesta i posttesta.

	Skupina	Broj učenika	M	SD	t-vrijednost	p
predtest	eksperimentalna	298	5,44	4,02	0,142	0,887
	kontrolna	283	5,40	3,89		
posttest	eksperimentalna	298	16,10	7,98	4,177	0,000
	kontrolna	283	13,33	7,98		

razumijevanju jednadžbe kemijske reakcije. Visoki postotak točnih odgovora vjerojatno je povezan s uporabom čestičnog crteža u nastavi što je utjecalo na učeničko razumijevanje submikroskopske razine. Analizom odgovora uočeni su različiti obrasci pogrešnog shvaćanja pojma jednadžba kemijske reakcije, a najučestaliji su prikazani u tablici 5. Najčešći netočni crtež prikazivao je molekule klorovodika kao H_2Cl_2 agregate (15.5%). Veliki broj učenika nacrtao je najjednostavniji omjer molekula produkta kao što je prikazano u jednadžbi kemijske reakcije ne uzimajući u obzir broj molekula reaktanata u reakcijskom sustavu (10,7%).

Tablica 6 uspoređuje rezultate predtesta i posttesta provedenog nakon šest mjeseci kako bi se utvrdila retencija znanja. T-testom je utvrđeno da eksperimentalna skupina nije statistički značajno bolja od kontrolne ($t=0,142$; $p=0,887$) u rezultatima predtesta. Rezultati posttesta ukazuju na statistički značajnu razliku između eksperimentalne i kontrolne skupine ($t=4,117$; $p=0,000$).

4. Zaključak

Rezultati istraživanja konceptualnog razumijevanja pojma jednadžbe kemijske reakcije ukazuju na postojanje jednakih konceptualnih poteškoća u različitim obrazovnim sustavima i razinama učenja (Barke i sur., 2009.; Davidowit i sur., 2010.; Nurrenbern i Pickering, 1987.; Sanger, 2005.; Sawrey, 1990.; Wood i Breyfogle, 2006.; Yaroch, 1985.). Kako razumijevanje koncepta jednadžbe kemijske reakcije nije moguće bez usvajanja niza drugih koncepata, konceptualni zadatci predstavljani u ovom radu razotkrili su niz pogrešnih poimanja u nastavničkoj populaciji i kod učenika/studenata u različitim obrazovnim razdobljima. Poteškoće su vezane uz čestično prikazivanje građe tvari, njihovo označavanje, jediničnu pretvorbu, reakcijski sustav i zakon o očuvanju mase. Najčešća pogreška, prisutna u svim opisanim zadacima, je poistovjećivanje broja čestica u reakcijskom sustavu s koeficijentom produkta u jednadžbi kemijske reakcije. Sve populacije ispitanika teško povezuju submikroskopsku i simboličku razinu i obrnuto. Predtest nije utvrdio statistički značajnu razliku u konceptualnom razumijevanju jednadžbe kemijske reakcije između

kontrolne i eksperimentalne skupine. Rezultati posttesta provedenog šest mjeseci nakon završetka kvazieksperimenta utvrdili su da je eksperimentalna skupina statistički značajno bolja u konceptualnom razumijevanju ovog temeljnog pojma i da je postignuta pozitivna retencija znanja. Bolji rezultati eksperimentalne skupine vjerojatno su povezani s uporabom čestičnog crteža u nastavi i upućuju na konceptualnu promjenu u razumijevanju jednadžbe kemijske reakcije.

Navedeni rezultati nemaju samo dijagnostičko značenje već bi trebali, pored ostalog, dati smjernice za poučavanje. Rješavanje kemijskog problema trebalo bi početi na makroskopskoj, opažajnoj razini koja bi se objasnila i vizualizirala čestičnim prikazima na submikroskopskoj razini a tek potom potkrijepila simboličkim prikazom kako bi se poticalo učenje koje za ishod ima konceptualno razumijevanje sadržaja. Proces formiranja kemijskih koncepata pa tako i onih koji se odnose na čestičnu prirodu tvari i kemijsku promjenu je mukotrpan i dugotrajan te bi poučavanje započeto u osnovnoj školi trebalo nastaviti na višim razinama formalnog obrazovanja. Također, čestični crtež bi trebalo koristiti i u poučavanju drugih nastavnih tema i kemijskih područja poput vrsta tvari, promjene agregacijskih stanja, otopina, građe tvari, elektrokemije, stehiometrije i sl.

Literatura

- Barke, H.D., Hazari, A. i Yitbarek, S. (2009.). *Misconception in chemistry*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Basil, M. N. i Sanger, M. J. (2012.). Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 186–194.
- Bridle, C. A. i Yeziarski, E. J. (2012.). Evidence for the Effectiveness of Inquiry-Based, articulate-Level Instruction on Conceptions of the Particulate Nature of Matter. *Journal of Chemal Education*, 89, 192–198.
- Bodner, G. M. i Domin, D. S. (2000.). Mental Models: The Role of Representations in Problem Solving in Chemistry. *University chemistry education*, 4(1), 24-30.
- Davidowitz, B., Chittleborough, G., Murray, E. (2010.). Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 154–164.
- Devetak, I., Drogenik Lorber, E., Jurišević, M. i Glažar, S. A. (2009.). Comparing Slovenian Year 8 and year 9 elementary school pupils' knowledge of electrolyte chemistry and their Intrinsic motivation. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 281-290.
- Gultepe, N., Celik, A.Y. i Kilic, Z. (2013.). Exploring Effects of High School Students' Mathematical Processing Skills and Conceptual Understanding of Chemical Concepts on Algorithmic Problem Solving. *Australian Journal of Teacher Education*, 38(10), 106-122.
- Hrvatski nacionalni obrazovni standard*. Zagreb: Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa (2006.).

- Johnstone, A. H. (1991.). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.
- Mrvoš-Sermek, D., Tašner, M. i Radanović, I. (2009.). Učeničko razumijevanje temeljnih kemijskih koncepcija. Novak, P. *XXI. Hrvatski skup kemičara i kemijskih inženjera, Knjiga sažetaka*, 317-317. Kutina: Petrokemija d.d.
- Naah, B. M. i Sanger, M. J. (2012.). Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 186-194.
- Nastavni plan i program za osnovnu školu*. Zagreb: Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa (2006.).
- Nurrenbern, S. C. i Pickering, M. (1987.). Concept Learning versus Problem Solving: Is there a difference? *Journal of Chemal Education*, 64(6), 508-510.
- Nurrenbern, S. C. i Robinson, W. R. (1998.). Conceptual Questions and Challenge Problems. *Journal of Chemal Education*, 75, 1502-1503.
- Nyachwaya, J. M., Warfa, A. R., Roehrig, G. H. i Schneider, J. L. (2014.). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 81-93.
- Prilliman, S. G. (2014.). Integrating Particulate Representations into AP Chemistry and Introductory Chemistry Courses. *Journal of Chemal Education*, 91, 1291-1298.
- Sanger, M. J. (2005.). Evaluating Students' Conceptual Understanding of Balanced Equations and Stoichiometric Ratios Using a Particulate Drawing. *Journal of Chemal Education*, 82, 131-134.
- Sanger, M. J. (2007.). Concept Learning versus Problem Solving": Does Particle Motion Have an Effect? *Journal of Chemal Education*, 84, 875-879.
- Sawrey, B. A. (1990.). Concept learning versus problem solving: Revisited. *Journal of Chemal Education*, 67(3), 253 - 254.
- Taber, K. (2002.). *Chemical misconception-prevention diagnosis and cure, Volume II: classroom resources*. London: Royal Society of chemistry.
- Vrbičić, S. (2009.). Učeničko razumijevanje pojedinih kemijskih pojmova u osnovnoj školi. (Diplomski rad). Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Warfa, A. M., Roehrig, G. H., Schneider, J. L. i Nyachwaya, J. (2014.). Role of Teacher-Initiated Discourses in Students' Development of Representational Fluency in Chemistry: A Case Study. *Journal of Chemal Education*, 91, 784-792.
- Wood, C. i Breyfogle, B. J. (2006.). Interactive Demonstrations for Mole Ratios and Limiting Reagents. *Journal of Chemal Education*, 83(5), 741-748.
- Yarroch, W. L. (1985.). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 449-459.
- Yitbarek, S. (2011.). Chemical Reaction: Diagnosis and Towards Remedy of Misconceptions. *AJCE*, (1), 10-28.

The analysis of the role of particle drawings in chemistry teaching and its application for improving conceptual knowledge

Summary

Chemistry is, due to its abstract nature, a difficult teaching subject. Among other things, the task of the teacher is, by using different didactic strategies, to enable the students to understand abstract concepts. Chemical equation is a complex, fundamental concept the understanding of which is not possible unless a number of other chemical concepts have been adopted. One of the possible ways to help students to develop the understanding of particle structure of substance and chemical change is by using models such as particle drawings. The incentives for this educational research were the results of checking conceptual understanding of chemical equation by using particle drawings (Nurrenbern and Pickering, 1987, p. 509). Many difficulties in understanding the meaning of chemical equation were recognised in the population of pupils, students and teachers. They served for designing methodological knowledge which helped pupils at the elementary level of education to visualize particles that participate in chemical reactions. Also, the teaching methods which could lead to the improvement of conceptual knowledge to facilitate the adoption of chemical concepts at higher levels of education were proposed.

Key words: chemistry teaching, chemical equation, particle drawing, conceptual knowledge.