

# UPORABA ČESTIČNOG CRTEŽA PRI ANALIZI, USVAJANJU, PROVJERI I UNAPREĐENJU KONCEPTUALNE RAZINE ZNANJA U NASTAVI KEMIJE

Sanda Šimičić

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Splitu

Poslijediplomski sveučilišni studij: *Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti – usmjerenje Kemija*

Split, Hrvatska

sandasimicic@yahoo.co.uk

**Sažetak:** Jedna od temeljnih zadaća nastave kemije je razviti interes učenika prema prirodnim znanostima, osposobiti ih za objašnjavanje kemijskih pojava i rješavanje problema u nizu različitih svakodnevnih situacija. Živimo u makroskopskom svijetu, svijetu kojeg možemo opaziti, no objašnjenja kemijskih procesa najčešće se nalaze na apstraktnoj, submikroskopskoj razini. Čestični crtež predstavlja koristan vizualizacijski alat primjenjiv na svim obrazovnim razinama i u svim područjima kemije (vrste tvari, fizikalna svojstva tvari, fizikalne i kemijske promjene, grada tvari, otopine soli, kiselina i baza, jednadžba kemijske reakcije, taložne reakcije, redoks-reakcije, elektrokemija, stehiometrija i sl.). U radu su analizirani rezultati edukacijskih istraživanja čija primjena u nastavnoj praksi može doprinijeti otkrivanju i otklanjanju alternativnih koncepata te spriječiti da neprimjerene nastavne metode i postupci budu uzrok stvaranja novih alternativnih koncepata tijekom formalnog obrazovanja. Kako se tradicionalno poučavanje kemije u velikoj mjeri temelji na algoritamskom usvajanju sadržaja u radu je načinjen pregled istraživanja doprinosa čestičnog crteža unapređenju usvajanja kemijskih znanja do konceptualnog razumijevanja sadržaja i pojmova. Čestični crtež javlja se u udžbeničkom materijalu većinom kao popratna slika, a vrlo rijetko se koristi u aktivnom obliku kao alat za analizu, usvajanje i evaluaciju znanja. Takav pristup trebalo bi promijeniti i osmisliti učinkovitije nastavne metode koje bi vodile poboljšanju predmetnog kurikulumu i postojećeg udžbeničkog materijala.

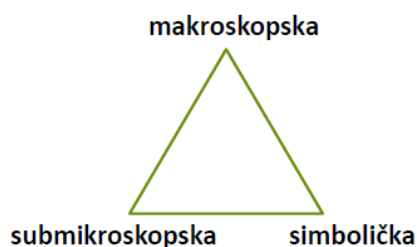
**Gljučne riječi:** *nastava kemije, čestična grada, čestični crtež, algoritamsko rješavanje problema, konceptualno znanje.*

## 1. UVOD

Suvremeno društvo, obilježeno brzim tehnološkim i znanstvenim razvojem zahtijeva brzu prilagodbu obrazovnih sustava s ciljem stjecanja manjeg opsega trajnih temeljnih znanja metodama aktivnog poučavanja. Rezultati brojnih istraživanja upućuju na činjenicu da je učenicima znanje stečeno školskim obrazovanjem zapravo “tromo znanje”, jer se tijekom poučavanja najčešće ne stvore uvjeti uz koje bi formalna znanja postala temelj svakodnevnom životnom kontekstu u svijetu rada i daljnjeg obrazovanja. Polazna osnova konstruktivističkog pristupa nastavi i didaktici je kritika nedovoljne učinkovitosti tradicionalne nastave. U konstruktivistički shvaćenom učenju u prvom planu je aktivnost učenika, aktivan stav osobe koja uči - uključenost u ono što se uči, sudjelovanje u istraživačkim aktivnostima i

rješavanju problema te suradnja s drugima.<sup>1</sup> Učenika treba osposobiti za rješavanje problema u nizu različitih svakodnevnih situacija.

*Mogu li se kroz nastavu kemije ostvariti navedeni ciljevi?* Kemija kao prirodna znanost, poučavanjem i primjenom modernih nastavnih strategija i metoda tijekom formalnog obrazovanja doprinosi svim područjima razvoja učenikove osobnosti (kognitivnom, afektivnom i psihomotoričkom). Međutim, kemija je bez obzira na obrazovni sustav, društveno, političko i ekonomsko okruženje u nekoj zemlji najčešće opisana kao iznimno težak nastavni predmet. *Zašto je to tako?* Usvajanje kemijskih sadržaja je za učenike složena zadaća koja se odvija na tri različite razine: makroskopskoj, submikroskopskoj i simboličkoj.<sup>2,3</sup>



Slika 1 Johnstonov trokut<sup>38</sup> - razine poučavanja kemije

Razumijevanje kemijskih sadržaja i postizanje konceptualne razine znanja postiže se primjenom različitih nastavnih strategija, metoda i postupaka u kojima se razine međusobno sjedinjuju i dopunjuju. 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 čestičnog modela kojim se vizualiziraju apstraktni pojmovi atoma, molekula i iona te njihova međudjelovanja. Pri tome treba voditi računa da vizualizacija ne postane sama sebi svrhom, već koristan i znanstveno utemeljen alat pri usvajanju složenih i apstraktnih kemijskih pojmova. **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, kompjutorskih animacija, shema i sl.

## SEMINAR 1

Čestična priroda tvari predstavlja samu srž kemije čije je razumijevanje nužno za usvajanje većine kemijskih koncepata.<sup>4</sup> Manjkavost razumijevanja na ovoj razini povezuje se s neprimjerenim poučavanjem kemijskih sadržaja, pogrešnim i neprikladnim prikazima u udžbenicima kemije, ali i s nedostatnim nastavničkim razumijevanjem kemijskih pojmova na čestičnoj razini.<sup>5</sup>

Budući da nismo u mogućnosti vidjeti atome, molekule i ione, njihove veze i međudjelovanja, potrebno je koristiti modele kako bi se objasnila opažanja na makroskopskoj razini.<sup>6</sup> Prirodnoznanstveni modeli imaju važnu ulogu u razvoju i napretku prirodnih znanosti jer omogućuju stvaranje „pojednostavljene slike“ nekog prirodnog fenomena pri čemu je moguće usredotočiti pažnju na njegove posebnosti.<sup>7</sup> Da bi učenik razumio submikroskopsku razinu mora čestice povezati s modelima, a modele sa simbolima. Modeli nisu idealan odraz stvarnosti već sredstvo koje se fokusira na važne odrednice potrebne za objašnjavanje nekog aspekta fenomena.<sup>8</sup> Zbog njihovih ograničenja u nastavi ih treba koristiti promišljeno i u kombinaciji s drugim nastavnim sredstvima ili modelima kako bi učenici dobili cjelovit i znanstveno utemeljen uvid u kemijski fenomen. Neriješeno je pitanje u kojoj dobi čestični modeli postaju učeniku razumljivi na željeni način i koje nastavne metode su tada najučinkovitije.

Čestični crtež je jedan od prikaza koji nam omogućava vizualizaciju čestične razine. Primjenjiv je na različite načine i s različitim svrhom u svim područjima kemije i na svim obrazovnim razinama: osnovnoj,<sup>30</sup> srednjoškolskoj<sup>13,15,16,25,32,35,36,49</sup> i sveučilišnoj.<sup>8,9,12,14,17,19,22,28,29,31,37,41-44,46</sup>

Čestični crtež je koristan alat pri:

- analizi i provjeri usvojenosti kemijskih sadržaja i pojmova<sup>9-11,16,18,19,23,28,32,33,41</sup>
- otkrivanju pogrešnih predkonceptata i alternativnih konceptata u mnogim nastavnim temama<sup>7,18-37</sup>
- unapređenju usvajanja kemijskih znanja do konceptualnog razumijevanja sadržaja i pojmova.<sup>26,37,38</sup>

## 2. UPORABA ČESTIČNOG CRTEŽA U EDUKACIJSKIM ISTRAŽIVANJIMA

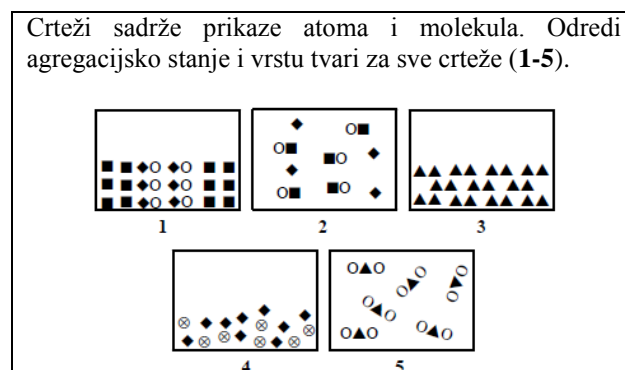
Edukacijska istraživanja provedena i opisana tijekom posljednja tri desetljeća koriste čestični crtež najčešće u dijagnostičke i evaluacijske svrhe kroz mnoga područja kemije:

1. Vrste tvari
2. Fizikalna svojstva tvari
3. Fizikalne i kemijske promjene
4. Građa tvari
5. Otopine soli, kiselina i baza
6. Jednadžba kemijske reakcije
7. Taložne reakcije
8. Redoks-reakcije, elektrokemija
9. Stehiometrija

Rezultati navedenih istraživanja pokazali su da učenici savladavaju zadatke koji zahtijevaju algoritamsko rješavanje (učenik treba poznavati činjenice, zakonitosti i procese te ih prepoznati i objasniti) i rješavanje na simboličkoj razini no istovremeno ne postižu konceptualno razumijevanje kemijskih sadržaja. Konceptualno znanje postiže se procesima apstraktnog mišljenja i generalizacije i očituje kroz rješavanje zadataka koji zahtijevaju primjenu znanja i rješavanje problema. Tradicionalno poučavanje kemije u velikoj mjeri temelji se na algoritamskom usvajanju sadržaja prilikom čega izostaje veza kemije sa svakodnevnim životom i izgradnja cjelovitih pojmovno-kontekstualnih koncepata.<sup>9,42</sup> Vježbom učenici usvoje obrasce i algoritme, rutinski točno riješe zadatke no istovremeno ne razumiju kemijske sadržaje na koje se oni odnose.<sup>10</sup> Nastavnici kemije često smatraju da uspješno algoritamsko rješavanje zadataka podrazumijeva usvojenost i razumijevanje kemijskih koncepata. Značaj u nastavku opisanih rezultata edukacijskih istraživanja je upravo u unapređivanju poučavanja kemije no ukoliko oni ostanu nepoznati široj nastavničkoj populaciji izostaje i njihov željeni utjecaj na nastavni proces.

### 2.1. Vrste tvari

Sanger<sup>12</sup> je u svom istraživanju koristio pet čestičnih crteža kako bi analizirao i unaprijedio poučavanje pojmova agregacijsko stanje i vrste tvari (elementi, kemijski spojevi, homogene i heterogene smjese).



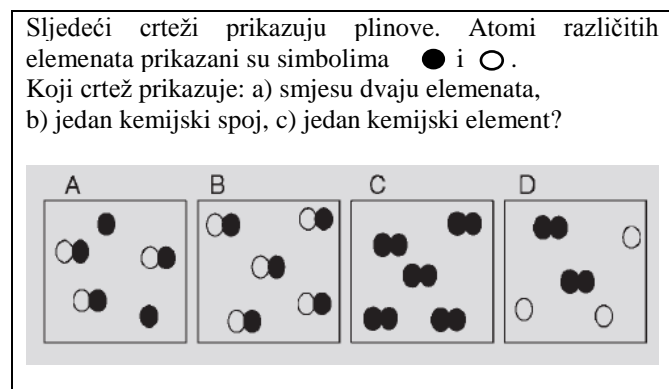
Slika 2 Određivanje agregacijskog stanja i vrste tvari<sup>12</sup>

Uspješne strategije kojima su studenti određivali vrstu tvari prikazanu na čestičnom crtežu korištene su u poučavanju koje je rezultiralo točnijom interpretacijom crteža. Poučavanje koje uključuje i čestični crtež omogućava učenicima uspješnije rješavanje konceptualnih zadataka vezanih za čestičnu prirodu tvari. Koristeći Sangerove čestične crteže Toth i Kiss<sup>13</sup> istražili su poznavanje koncepata agregacijskog stanja i sastava tvari mađarskih srednjoškolaca. Analizom rezultata je dobiven uvid u kognitivnu strukturu i konceptualnu razinu znanja. Određivanje vrsta tvari posebice razlikovanje homogenih i heterogenih smjesa učenicima je predstavljalo veliki problem. Nakon poučavanja zabilježene su blage i prolazne promjene u kognitivnoj strukturi znanja učenika. Neznatno povećanje razumijevanja temeljnih kemijskih

## SEMINAR 1

koncepta opaženo je u osmom i desetom razredu u području anorganske i organske kemije.

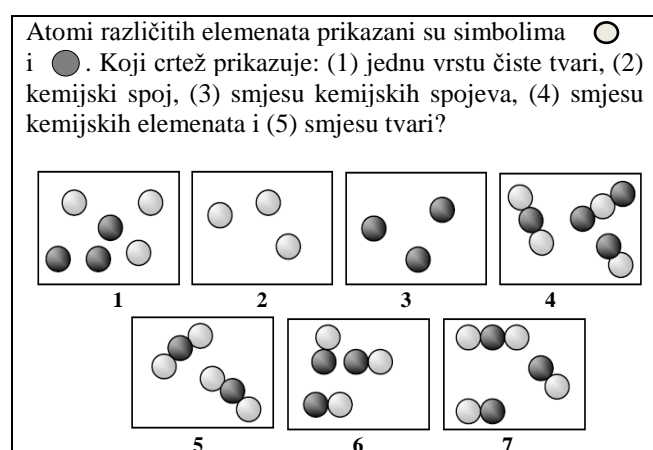
Čestični crtež koristio se i kako bi se istražila jačina umne povezanosti između konceptata molekule i kemijskog spoja u studenata na različitim razinama sveučilišnog obrazovanja.<sup>14</sup>



Slika 3 Određivanje vrsta tvari<sup>14</sup>

Znatan broj studenata viših godina svrstava molekule elementarnih tvari među kemijske spojeve. Vjerojatno je to pokazatelj snažne umne povezanosti konceptata molekule i kemijskog spoja. Zabrinjavajuća je činjenica da su napredniji studenti koji su odslušali više kemijskih kolegija ostvarili lošije rezultate u odnosu na studente početnike što potvrđuje da umna povezanost ovih konceptata vremenom nije postajala slabija već je neočekivano rasla.

Rezultati niza istraživanja ukazuju da učenici teško zamišljaju makroskopske događaje na submikroskopskoj razini koristeći čestične modele.<sup>15</sup> Brzo uvođenje većeg broja novih pojmova ne ostavlja dovoljno vremena za njihovo pravilno strukturiranje u trajnom znanju što u konačnici rezultira manjkavim razumijevanjem ovog temeljnog područja u poučavanju kemije.



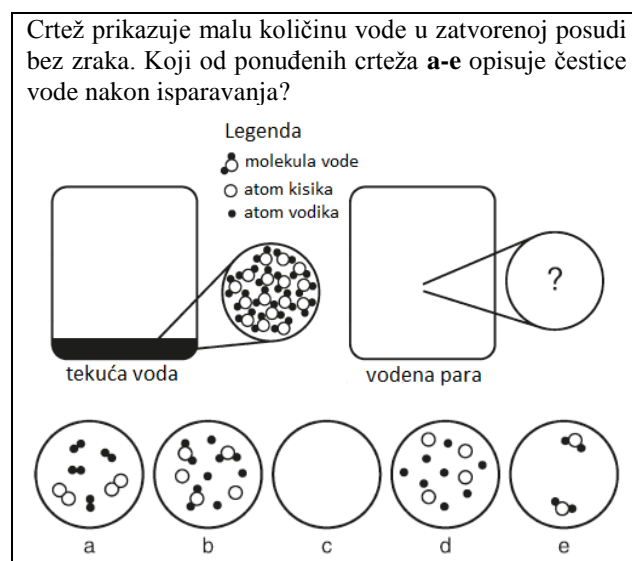
Slika 4 Određivanje vrsta tvari<sup>15</sup>

Rezultati potvrđuju da prikazivanje makroskopskih događaja čestičnim prikazima učenicima zadaje niz poteškoća koje uključuju široki spektar intuitivnih

alternativnih konceptata i ukazuju na činjenicu da učenici najteže savladavaju koncept čiste tvari.

## 2.2. Fizikalna svojstva tvari

Čestični crtež najčešće je korišten za analizu i provjeru koncepta promjene agregacijskog stanja tvari. Kako bi utvrdili ovisi li razina konceptualnog znanja o vrsti postavljenih zadataka, Halakova i Prokša iste su konceptualne probleme predstavili verbalnim zadacima i zadacima prikazanim crtežima.<sup>16</sup>



Slika 5 Prikaz čestica tekuće vode i vodene pare<sup>16</sup>

Iako su studenti bili neznatno uspješniji u verbalnim zadacima, ukupna razina uspješnosti može se okarakterizirati niskom. Prilikom izbora točnog odgovora studenti često nisu birali logičan i razuman već onaj koji im se učinio moguć premda je bio netočan. Razina konceptualnog razmišljanja koje je esencijalno za mnoga znanstvena područja nije bila visoka za većinu studenata koji su uspješni u rješavanju problema koji uključuju algoritme. Slabi rezultati testa nisu bili rezultat vrste zadatka već nedovoljne usvojenosti sadržaja i manjkavog konceptualnog razumijevanja.

Koristeći prethodno opisani čestični crtež (slika 5) Mulford i Robinson dolaze do zaključka da mnogi studenti opće kemije donose sa sobom niz alternativnih konceptata iz prijašnjih razina obrazovanja. Nažalost, rezultati pokazuju da im sveučilišni program opće kemije omogućava skromno poboljšanje razumijevanja temeljnih kemijskih konceptata. Pogrešna shvaćanja uključuju neodgovarajuće ideje o atomima i molekulama, plinovima, kemijskim formulama itd.

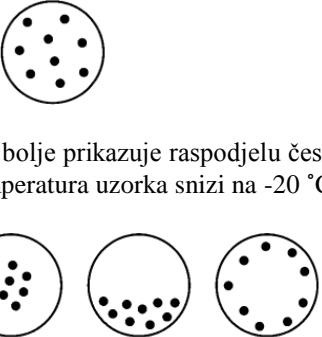
Podrazumijeva li sposobnost rješavanja problema razumijevanje konceptata vezanih za kemijski problem pitanje je na koje su Nurrenbern i Pickering pokušavali dati odgovor kroz više istraživanja.<sup>19,10</sup> Tradicionalne metode koje učenici kemije koriste u rješavanju problema su pamćenje, mnemonika i algoritmi. Iako su ove metode korisne, ne omogućavaju razvijanje kritičkog mišljenja i

## SEMINAR 1

vještine kvantitativnog razmišljanja. Rezultati istraživanja Nurrenberna i Pickeringa pokazuju da postoji korelacija između rješavanja algoritamskih problema i razumijevanja kemijskih koncepata.<sup>10</sup>

Konceptualni zadatci koji propitkuju svojstva plinova i kemijski račun (stehiometriju) predstavljeni su čestičnim crtežom, a algoritamski zadatci su se rješavali na tradicionalni računski način.

Crtež prikazuje poprečni presjek kroz čeličnu posudu ispunjenu plinom helijem pri 20 °C i 3 atm. Točke predstavljaju raspodjelu atoma helija.



Koji čestični crtež najbolje prikazuje raspodjelu čestica u posudi ukoliko se temperatura uzorka snizi na -20 °C?

**Slika 6** Raspodjela atoma helija u reakcijskoj posudi<sup>20</sup>

Zaključeno je da mnogi studenti nisu sposobni primijeniti temeljne kemijske pojmove pri rješavanju konceptualnih problema. Koristeći isti čestični crtež u poučavanju studenata Sanger dolazi do spoznaje da takav pristup doprinosi boljem rješavanju zadataka povezanih s raspodjelom čestica.<sup>20</sup>

Pickering postavlja pitanje: *Je li rješavanje konceptualnih problema povezano sa sposobnošću pojedinca ili njegovim znanjem?*<sup>18</sup> Gotovo svi studenti riješili su tradicionalne računске stehiometrijske zadatke vezane uz plinove, a samo 38 % od 101 studenta koji su sudjelovali u istraživanju je riješilo konceptualne zadatke. Težina rješavanja konceptualnih zadataka proizašla je iz manjka činjeničnog znanja iz područja stanja idealnih plinova i nije posljedica razlike u sposobnostima pojedinaca.

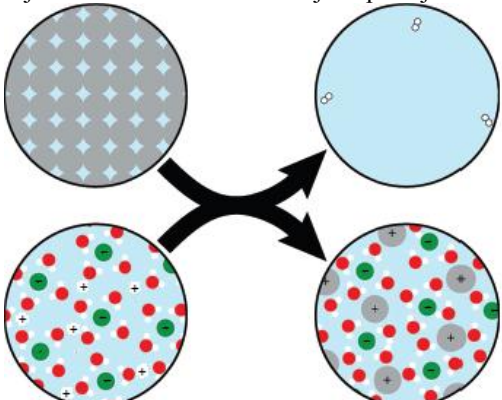
*Može li laboratorijski rad učenika u kombinaciji s demonstracijskim pokusima značajno pomoći mijenjanju prethodno stečenih alternativnih koncepata?*<sup>21</sup> Na temelju iskustva i intuitivnih ideja o prirodi plina učenici stvaraju snažne alternativne koncepte. Primjerice, mišljenja su da je masa čvrstih tvari veća od mase plinova. Nakon laboratorijskih vježbi i demonstracijskih pokusa povećao se broj točnih odgovora no većina učenika ipak nije točno odgovarala na postavljena pitanja. Značajan napredak postignut je u prepoznavanju molekula vode u plinovitom agregacijskom stanju (zadatak-slika 5) iako ni u ovom istraživanju većina učenika nije odabrala točan prikaz (48 % od 63 učenika).

### 2.3. Fizikalne i kemijske promjene

Učenje otkrivanjem potpomognuto uporabom čestičnog crteža omogućava konceptualno razumijevanje i primjenu

temeljnih pojmova, zaključak je istraživanja opisanog u radu u kojem je korišten čestični crtež prikazan na slici 7.<sup>22</sup>

Prikazuje li crtež fizikalnu ili kemijsku promjenu?



**Slika 7** Prikaz reakcije magnezija i kloridne kiseline<sup>22</sup>

Studenti su na temelju čestičnog crteža, a bez znanja o kojim tvarima je riječ trebali zaključiti je li promjena kemijska ili fizikalna. Ovakav pristup pokazao se učinkovitijim od tradicionalnog. Algoritamsko rješavanje zadataka nije garancija razumijevanja kemijskih koncepata poput kemijskih i fizikalnih promjena pokazalo je istraživanje koje su proveli Gultepe, Celik i Kilic.<sup>23</sup> Utvrđena je snažna pozitivna veza između vještine algoritamskog rješavanja problema, konceptualnog razumijevanja i matematičkih vještina. Konceptualno razumijevanje zajedno s matematičkim vještinama doprinosi rješavanju kemijskih problema. Slični rezultati opisani su u jednom od rijetkih domaćih istraživanja koje se odnosilo na vanjsko vrednovanje obrazovnih postignuća učenika 8. razreda u Republici Hrvatskoj, a ukazuju na činjenicu da su mnogi pogrešni odgovori uvjetovani slabim operativnim znanjem matematike i neadekvatnom primjenom veličinske jednadžbe, a to je važna osobina nekih zadataka u kemiji.<sup>47</sup> Algoritme treba koristiti u algebarskim zadacima, učenike treba poticati da ih koriste istovremeno razvijajući i koristeći konceptualno znanje. Također, treba voditi računa da je korištenje koncepata u rješavanju kemijskih problema povezano sa svakodnevnim životom.

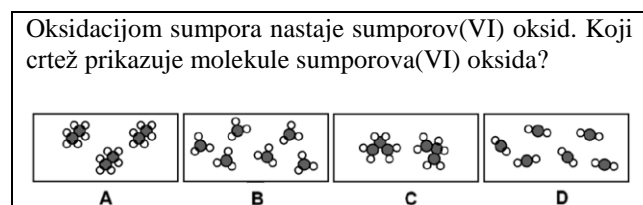
Zabrinjavajuća je činjenica da i studenti nastavnčkih zanimanja posjeduju širok spektar alternativnih koncepata vezanih za temeljne kemijske pojmove.<sup>24</sup> Pogrešna shvaćanja prisutna su na svim godinama njihova studiranja pa predstavljaju realnu opasnost da se prenesu na njihove buduće učenike. Čak i studenti završne godine smatraju da je značenje taljenja i otapanja isto, a isparavanje i hlapljenje za njih su jednaki procesi. Iz navedenog se može zaključiti da su neki alternativni koncepti vrlo tvrdokorni, a odnose se na temeljna kemijska znanja.

### 2.4. Grada tvari

Sistematična i kontinuirana dijagnoza alternativnih koncepata mora se provoditi jer ponekad unatoč naporima

## SEMINAR 1

da se situacija promjeni rezultati istraživanja potvrde ne samo da nije došlo do konceptualne promjene već je određeni alternativni koncept prisutan kod još većeg broja ispitanika.<sup>25</sup> Loši rezultati u zadacima koji se temelje na submikroskopskom vizualnom prikazu mogu se tumačiti nedostatnom obradom ovih nastavnih sadržaja na submikroskopskoj razini.



**Slika 8** Prikaz molekula sumporova(VI) oksida i najučestalijih učeničkih alternativnih ideja o njima<sup>25</sup>

Više od 62 % od 786 omanskih srednjoškolaca ne prepoznaje prikaz molekula sumporova(VI) oksida. Alternativni koncepti o građi tvari prepoznati u čestičnim crtežima obrađeni su u knjizi „*Misconceptions in Chemistry*“.<sup>26</sup> Molekule vodika i kisika nastale razlaganjem vode učenici prikazuju kao atome. Njemački srednjoškolci teško prepoznaju vodenu paru u čestičnom prikazu i pri tome se odlučuju za crteže koji predstavljaju kisikove i vodikove atome. Do sličnih rezultata dolazi i Taber u svom istraživanju kod engleskih učenika.<sup>27</sup> Srednjoškolci prikazuju formulske jedinice soli primjerice natrijeva klorida kao molekule i ne disociraju ih u vodi. Dio srednjoškolaca smatra da se otopina natrijeva klorida sastoji od molekula, a umjesto molekula vode crtaju vodikove atome te hidrosidne i oksidne ione.

Srednjoškolci doživljavaju ionsku vezu kao privlačenje suprotnog naboja proizašlog iz težnje atoma da ostvari elektronski oktet.<sup>6</sup> Poteškoće se primjećuju i u opisu prirode kemijske veze u istaloženom srebrovom kloridu iz otopina natrijeva klorida i srebrova nitrata.<sup>26</sup> Mišljenje da je ionska veza posljedica prijenosa elektrona duboko je ukorijenjena u umni model učenika pa za njih srebrov kation nastaje tako da atom srebra otpušta elektron, a atom klora pri tome prima elektron.

Učenici su uspješniji u rješavanju problema koji zahtijevaju čitanje submikroskopskih prikaza nego u samostalnom crtanju čestičnih crteža i translaciji submikroskopskog prikaza u simbolički.<sup>22,24,28,29,45</sup>

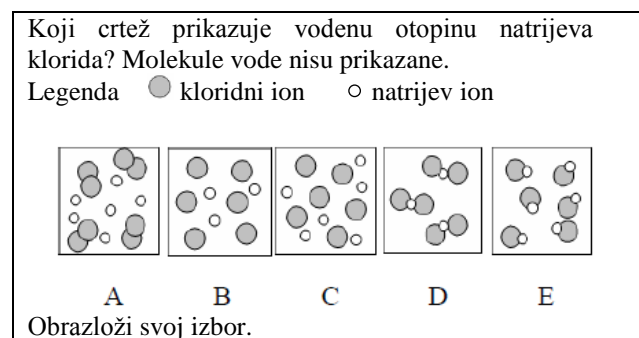
### 2.5. Otopine soli, kiselina i baza

Istraživanja koja je također proveo Taber<sup>19</sup> ukazuju da učenici srednjih škola pogrešno prikazuju ionske vrste prisutne u vodenoj otopini natrijeva klorida te kristalnu građu natrijeva klorida. Kako bi objasnili reakciju taloženja srebrova(I) klorida dobivenog miješanjem vodenih otopina natrijeva klorida i srebrova(I) nitrata, učenicima su predočeni shematski dvodimenzionalni prikazi kristalne građe srebrova(I) nitrata, natrijeva klorida i srebrova(I) klorida te submikroskopski prikaz molekula vode. Mnogi učenici nemaju razvijen ispravan

umni model o česticama prisutnima u vodenim otopinama jer nisu prepoznali čestice u otopinama nastale otapanjem natrijeva klorida i srebrova(I) nitrata.

Pogrešna primjena algoritama u rješavanju kemijskih problema očituje se primjerice u reakciji otapanja natrijeva klorida koju studenti prikazuju ionskom izmjenom karakterističnom za dobivanje soli što vodi pogrešnom predviđanju produkata reakcije (natrijev oksid i klorovodična kiselina).<sup>28</sup>

Veliki broj učenika ima poteškoća u korištenju kemijske terminologije.<sup>15,30</sup> Prepoznaju točan čestični crtež, ali ne znaju obrazložiti svoj izbor. Slične alternativne koncepte Devetak je opazio među učenicima osnovnih i srednjih škola u Sloveniji, primjerice vjerovanje da vodena otopina natrijeva klorida sadrži molekule natrijeva klorida.

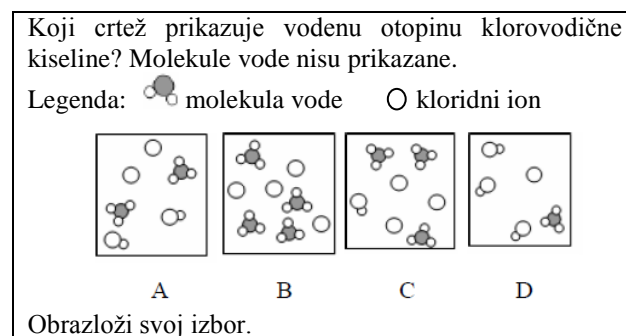


**Slika 9** Čestični crtež vodene otopine natrijeva klorida<sup>30</sup>

Od 81 učenika devetog razreda 49 % učenika osnovne škole odlučilo se za crtež E.

Računalna i video tehnologija koristi se u animaciji procesa poput otapanja natrijeva klorida kako bi učenici vizualizirali kinetiku reakcije.<sup>31</sup> Kompjutorske animacije kemijskih reakcija na čestičnoj razini su učinkovite u poboljšanju konceptualnog razumijevanja ukoliko se koriste kao sastavni dio poučavanja.<sup>31,46</sup>

Nakhleh je pomoću čestičnih crteža analizirala razinu znanja iz područja kiselinsko-baznih otopina.<sup>32</sup> Učenici su teško povezivali verbalni opis čestica s prikazivanjem istih koncepata čestičnim crtežom. Nedostatno razumijevanje ovog područja onemogućavalo je promjenu alternativnih koncepata pa u konačnici niti jedan intervjuirani srednjoškolski učenik nije u potpunosti shvaćao zadaću iona u vodenim otopinama. Veliki broj osnovnoškolaca u Sloveniji nije prepoznao klorovodičnu kiselinu kao jaku kiselinu.<sup>30</sup>



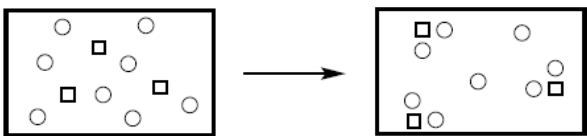
**Slika 10** Čestični crtež vodene otopine klorovodične kiseline<sup>30</sup>

Od 81 učenika devetog razreda 26 % je izabralo odgovor D.

## 2.6. Jednadžba kemijske reakcije

Kemijska jednadžba dio je kemijskog jezika kojeg kemičari i nastavnici kemije svakodnevno koriste.<sup>34</sup> Nakon uvođenja pojma jednadžba kemijske reakcije nastavnici najčešće podrazumijevaju da su učenici usvojili ovu vrstu simboličkog prikaza no mnogi problemi učenja kemije povezani su upravo s konceptom jednadžbe kemijske reakcije. Sanger koristi čestične crteže Nurrenberna i Pickeringa kako bi istražio usvojenost koncepta jednadžbe kemijske reakcije.<sup>35</sup>

Reakcija elementa X(□) i elementa Y(○) predstavljena je sljedećim crtežom.  
Koja jednadžba opisuje kemijsku reakciju:



(a)  $3X + 8Y \rightarrow X_3Y_8$       (b)  $3X + 6Y \rightarrow X_3Y_6$   
 (c)  $X + 2Y \rightarrow XY_2$       (d)  $3X + 8Y \rightarrow 3XY_2 + 2Y$   
 (e)  $X + 4Y \rightarrow XY_2$

Slika 11 Prikazivanje jednadžbe kemijske reakcije čestičnim crtežom<sup>35</sup>

Najčešće pogreške vezane su uz pojmove subskripata i koeficijenta te uključivanje neizreagiranih reaktanata u jednadžbu kemijske reakcije, odnosno nerazlikovanje reakcijskog sustava i jedinične kemijske promjene opisane jednadžbom. Studenti koji su usvojili koncept subskripata i koeficijenta bolje su rješavali stehiometrijske zadatke. Od 156 studenata 64 % koristilo je stehiometrijski omjer iz pogrešno napisane jednadžbe kemijske reakcije što nas navodi na zaključak da točno izjednačavanje jednadžbe kemijske reakcije ne podrazumijeva i konceptualno razumijevanje. Nyachwaya i autori<sup>28</sup> opisuju niz algoritamskih postupaka koji su studenti koristili u izjednačavanju triju različitih jednadžbi kemijskih reakcija nakon čega su crtali čestične crteže koji su prikazivali sudionike tih reakcija. Prema vrsti algoritama koje su studenti koristili prepoznata su dva obrasca:

(a) uspješna primjena algoritama koja uvijek ne uključuje i konceptualno znanje, primjerice, neki studenti rutinski izjednačavaju jednadžbu kemijske reakcije no ne znaju objasniti zašto je izjednačavanje potrebno započeti s određenim kemijskim elementom

(b) pogrešna primjena algoritama

Čestičnim crtežom koji učenik mora sam nacrtati kako bi objasnio događaje na čestičnoj razini otkriva se niz poteškoća u shvaćanju čestične prirode tvari. Velika je

razlika između učenikove sposobnosti da izjednači jednadžbu kemijske reakcije i njena prikazivanja čestičnim crtežom.<sup>36</sup> Iako gotovo svi učenici koji su sudjelovali u istraživanju točno izjednačavaju jednadžbu kemijske reakcije, većina ima poteškoća u crtanju konceptualno odgovarajućih prikaza što je naročito prisutno u jednadžbama kemijske reakcije zapisanim u ionskom obliku. Crtanje čestičnog crteža zahtijeva znanje i povezivanje niza temeljnih kemijskih koncepata. Budući da se oni uče zasebno učenici vjerojatno ne uočavaju veze između njih, a nastavnici zbog pretrpanog nastavnog plana i programa nemaju se vremena tome dovoljno posvetiti. Kako bi evaluirali učinke konceptualne promjene učenika Barke i Silesi su osmislili nastavni materijal čija je zadaća konceptualna promjena i prevencija alternativnih koncepata. Nussbaum i Novick<sup>37</sup> opisuju uvjete nužne za konceptualnu promjenu: učenici moraju postati nezadovoljni postojećim konceptom, novi koncept mora biti razumljiv, uvjerljiv i koristan. Rezultati učenika eksperimentalne grupe pokazali su značajno viša postignuća i manji broj alternativnih koncepata povezanih s pojmom jednadžbe kemijske reakcije. Yitbarek<sup>38</sup> također koristi ovaj pristup kako bi utvrdio hoće li doći do konceptualne rekonstrukcije pojma koeficijenta i subskripata tijekom izvođenja nastave. Učinkovitost ovog pristupa potvrđena je rezultatima eksperimentalne grupe koja je bila uspješnija u pisanju jednadžbe kemijske reakcije, a naročito u prikazivanju jedinične kemijske promjene pomoću crteža.

## 2.7. Taložne reakcije

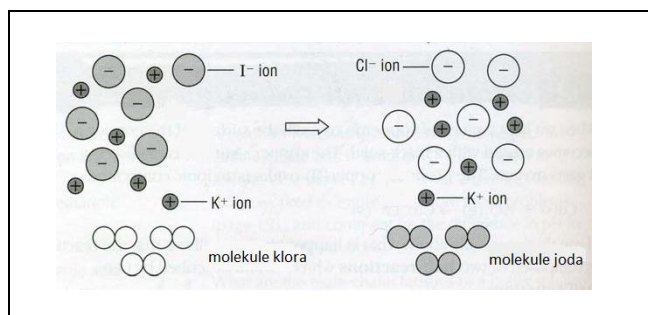
Nažalost, alternativne koncepte ne posjeduju samo učenici već u manjoj ili većoj mjeri i njihovi nastavnici. Čestični crtež omogućio je uvid u alternativne koncepte nastavnika na submikroskopskoj razini u vodenim otopinama soli, uključujući taložne reakcije.<sup>39</sup> Analizom dobivenih crteža opaženi su neki alternativni koncepti i pojave opisani u novijoj edukacijskoj literaturi i obrazloženi neprimjerenim načinom poučavanja kroz sva obrazovna razdoblja: nepovezanost temeljnih kemijskih pojmova, nemogućnost modelnog prikaza čestičnog stanja tvari, pogrešno shvaćanje odnosa između jednadžbe kemijske reakcije u makroskopskom obliku i submikroskopske razine prikaza i postojanje alternativnih koncepata o nedisociranosti ionskih vrsta u vodenim otopinama soli, što je već razmatrano i u poglavlju 2.5.

## 2.8. Redoks-reakcije, elektrokemija

Težina nastavnog predmeta proizlazi i iz činjenice da se nastava dominantno odvija na simboličkoj razini. Ukoliko se prebrzo dostigne submikroskopska i simbolička razina razdvojiti će se od makroskopske, što u konačnici stvara pogrešnu sliku o kemiji kao znanosti, odbija učenike koji nemaju razvijene sposobnosti apstraktnog mišljenja i onemogućava kvalitetno savladavanje sadržaja. Redoks reakcije važne su za razumijevanje kemijskih sadržaja i

## SEMINAR 1

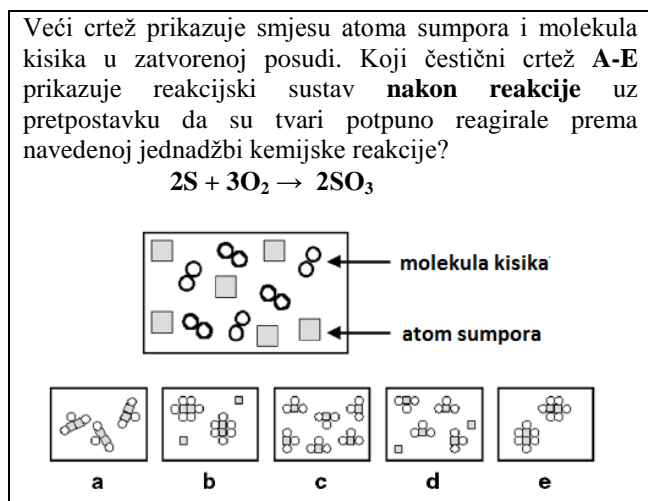
niza promjena i postupaka koje susrećemo u životu: gorenje, hrđanje željeza, proizvodnja željeza, elektroliza aluminijskoga oksida pri proizvodnji aluminija, proizvodnja električne energije u baterijama i akumulatorima itd. Barke<sup>40</sup> predlaže da poučavanje elektrokemije započne pokusom na makroskopskoj razini. Slijedi submikroskopska razina na kojoj je prijelaz elektrona objašnjen česticama. Jednadžba kemijske reakcije koja prikazuje redoks proces uključuje i prijelaz elektrona. Kemijski proces može se potom vizualizirati čestičnim crtežom.



Slika 12 Čestični crtež reakcije molekula  $\text{Cl}_2$  i  $\text{I}^-$  iona u vodenoj otopini<sup>40</sup>

### 2.9. Stehiometrija

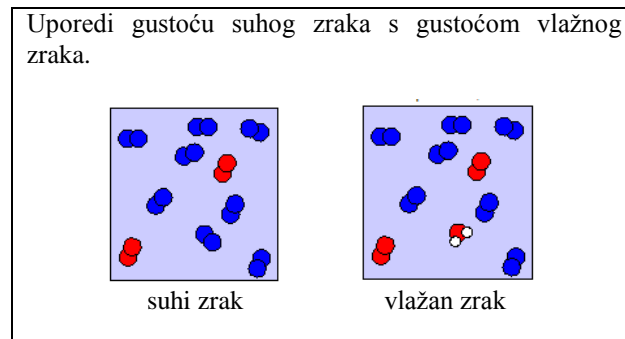
Jedan od temeljnih konceptata kemije je usvajanje pojma mjerodavni reaktant u kemijskoj promjeni. Učenici često biraju rješenje koje nije u skladu sa zakonom o očuvanju mase.<sup>17</sup>



Slika 13 Provjera usvojenosti koncepta mjerodavni reaktant čestičnim crtežom<sup>17</sup>

Samo 11 % od 928 američkih srednjoškolaca sposobno je točno riješiti ovaj zadatak koji provjerava usvojenost koncepta mjerodavni reaktant. Dobro razvijene specijalne sposobnosti važnije su za rješavanje konceptualnih zadataka u odnosu na algoritamske. Uspješno rješavanje problema uključuje stvaranje odgovarajućeg prikaza i mogućnost povezivanja jednog prikaza s drugim. Poticanje

učenika da koriste različite prikaze pomaže im da prepoznaju informaciju koja će ih dovesti do točnog rješenja. Primjerice, većina studenata pretpostavlja da je vlažan zrak veće gustoće od suhog zraka. Čini se razumnim da dodana vodena para može povećati masu uzorka zraka stalnog volumena, a time i gustoću.



Slika 14 Prikaz suhog zraka i zraka zasićenog vodenom parom<sup>41</sup>

No, mišljenje se mijenja nakon analize čestičnog crteža koji uzima u obzir Avogadrovu hipotezu po kojoj jednaki volumeni različitih plinova pri normalnim uvjetima sadrže jednak broj čestica. Uspoređujući relativne molekulske mase vode i zraka student zaključuje da je vlažan zrak manje gustoće od suhog zraka. Uspješni studenti kemijski problem rješavaju koristeći veći broj različitih prikaza. Rezultati istraživanja provedenog nakon poučavanja interaktivnim pristupom u kombinaciji s demonstracijom pokusa (Interactive Lecture Demonstration, ILD) ukazuju na znatno poboljšanje u razumijevanju stehiometrijskih konceptata no ne smije se zanemariti ni činjenica da se pojedini koncepti poput mjerodavnog reaktanta i dalje nisu u potpunosti usvojili.<sup>37</sup>

### 3. ZAKLJUČAK

Rezultati znanstvenih istraživanja u kemiji proizlaze iz eksperimentom prikupljenih podataka i na temelju njih kognitivno konstruiranih modela i teorija kojima se objašnjava opažena kemijska pojava. Poučavanje kemije treba slijediti isti obrazac. Jedan od ciljeva kemijskog obrazovanja je prepoznati i mijenjati pogrešne predkoncepte koje učenici donose sa sobom u razred. To nije uvijek laka zadaća. Zbog složenosti nastavnog predmeta i neprimjerenih metoda poučavanja neki kemijski pojmovi ostaju neusvojeni do kraja formalnog obrazovanja što doprinosi stvaranju alternativnih konceptata.<sup>26</sup> Učenici svjesno i nesvjesno stvaraju predodžbe i vjeruju da je većina tih konceptata točna jer imaju smisla u okviru njihova razumijevanja prirode.<sup>17</sup> Novu informaciju koja se ne podudara s postojećim alternativnim konceptom učenik teško prihvaća jer je smatra pogrešnom. Edukacijska istraživanja i primjena dobivenih rezultata u nastavnoj praksi mogu doprinijeti otkrivanju i otklanjanju alternativnih konceptata te spriječiti da neprimjerene nastavne metode i postupci budu uzrok

## SEMINAR 1

stvaranja novih alternativnih koncepata tijekom formalnog obrazovanja.

Submikroskopske prikaze treba češće koristiti u nastavi jer to doprinosi boljem povezivanju makroskopske, submikroskopske i simboličke razine te postizanju viših kognitivnih razina.<sup>44</sup>

Koncept tvari je temeljni koncept kojemu treba pristupiti holistički uključujući sve aspekte svojstva tvari i njihovih promjena, građe tvari, njena sastava i simboličkog prikazivanja te zakona o očuvanju mase.<sup>43</sup> Kako je čestična građa srž koncepta tvari, uporaba čestičnog crteža nameće se kao logičan alat u poučavanju kemije i edukacijskim istraživanjima. Objašnjavanje i poučavanje čestičnih modela omogućava ne samo razumijevanje modela i čestične prirode tvari već i predviđanje pojava. Čestični crtež javlja se u udžbeničkom materijalu većinom kao popratna slika, a vrlo rijetko se koristi u aktivnom obliku kao alat za analizu, usvajanje i evaluaciju znanja. Preduvjet učinkovitoj primjeni čestičnog crteža u nastavi je metodički dobro oblikovan i znanstveno utemeljen alat u rukama educiranog nastavnika.

Edukacijska istraživanja u svijetu koja koriste čestični crtež provode se na svim obrazovnim razinama i u svim područjima kemije. U Hrvatskoj nije provedeno niti jedno značajnije istraživanje o uporabi čestičnog crteža u nastavi kemije i njegova utjecaja na razumijevanje sadržaja i retenciju znanju. Na temelju dosadašnjih spoznaja opisanih u edukacijskoj literaturi otvaraju se novi putevi istraživanja u osmišljavanju nastavnih strategija koje bi uključivale čestični crtež kao alat u analizi, usvajanju, provjeri, a posebno u unapređenju kvalitete kemijskih znanja. Razvojni čestični crtež pri tome može imati važnu ulogu što do sada nije značajnije istraživano i opisivano, pogotovo u hrvatskom obrazovnom sustavu. Rezultati takvih istraživanja mogu doprinijeti boljim metodama poučavanja nastavnog predmeta kao i poboljšanju predmetnog kurikuluma te postojećeg udžbeničkog materijala.

### Literaturni izvori:

1. S. Rodek, *Napredak* **152** (2011) 9-28.
2. A. H. Johnstone, *J. Comp. Ass. Learn.* **7** (1991) 75-83.
3. D. Gabel, *J. Chem. Educ.* **76** (1999) 548-554.
4. P.G. Nelson, *Chem. Educ. Res. Prac.* **3** (2002) 215-228.
5. D. Gabel, *J. Chem. Educ.* **70** (1993) 193-194.
6. R. K. Coll and D. F. Treagust, *J. Res. Sci. Teach.* **40** (2003) 464-486.
7. M. Bastić, *Primjena trodimenzionalnog modela u procesu stjecanja znanja o konceptu tvari u osnovnoj školi*, Magistarski rad, Prirodoslovno- matematički fakultet Sveučilišta u Splitu, 2011.
8. J. DeShawn Merritt, *Tracking Students' Understanding of the Particle Nature of Matter*, A dissertation submitted in partial fulfillment Of The University of Michigan, Michigan, 2010.
9. J. M. Nyachwaya, *College Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter Across Reaction Types*, A dissertation submitted to the faculty of the graduate school of the University of Minnesota, Minnesota, 2012.
10. S. C. Nurrenbern and W. R. Robinson, *J. Chem. Educ.* **75** (1998) 1502-1503.
11. M. C. Sostarecz and A. G. Sostarecz, *J. Chem. Educ.* **89** (2012) 1148-1151.
12. M. J. Sanger, *J. Chem. Educ.* **77** (2000) 762-766.
13. Z. Tóth and E. Kiss, *Practice and Theory in Systems of Education* **1** (2006) 109-125.
14. M. Stains and V. Talanquer, *J. Chem. Educ.* **84** (2007) 880-883.
15. G. O. M. Onwu and E. Randall, *Chem. Educ. Res. Prac.* **7** (2006) 226-239.
16. Z. Halakova and M. Prokša, *J. Chem. Educ.* **84** (2007) 172-174.
17. D. R. Mulford and W. R. Robinson, *J. Chem. Educ.* **79** (2002) 739- 744.
18. M. Pickering, *J. Chem. Educ.* **67** (1990) 254-255.
19. S. Nurrenbern and M. Pickering, *J. Chem. Educ.* **64** (1987) 508.
20. M. J. Sanger, C. K. Vaughn and D. A. Binkley, *J. Chem. Educ.* **90** (2013) 700-709.
21. K. J. Mayer, *J. Chem. Educ.* **88** (2011) 111-115.
22. C. A. Bridle and E. J. Yezierski, *J. Chem. Educ.* **89** (2012) 192-198.
23. N. Gultepe, A.Y. Celik and Z. Kilic, *Australian Journal of Teacher Education* **38** (2013) 106-122.
24. G. Yayla and G. Eyceyurt, *Western Anatolia Journal of Educational Sciences* (2011) 285-294.
25. S. M. Al-Balushi, A. K. Ambusaidi, A. H. Al-Shuaili and N. Tay, *Science Education International* **23** (2012) 221-240.
26. H. D. Barke, A. Hazari and S. Yitbarek, *Misconception in chemistry*, Springer, 2009.
27. K. Taber, *Chemical misconceptions-prevention, diagnosis and cure, Volume II: classroom resources*, Royal Society of Chemistry, London, 2002.
28. J. M. Nyachwaya, A. R. Warfa, G. H. Roehrig and J. L. Schneiderd, *Chem. Educ. Res. Prac.* **15** (2014) 81-93.
29. R. M. Kelly and L. L. Jones, *J. Chem. Educ.* **85** (2008) 303-309.
30. I. Devetak, E. D. Lorber, M. Jurišević and S. A. Glazar, *Chem. Educ. Res. Prac.* **10** (2009) 281- 290.
31. R. W. Milne, *J. Chem. Educ.* **76** (1999) 50-51.
32. M. B. Nakhleh, *J. Chem. Educ.* **70** (1993) 52- 55.
33. M. B. Nakhleh and R. C. Mitchell, *J. Chem. Educ.* **70** (1993) 190-192.
34. Z. H. Zhang and M. C. Linn, *J. Res. Sci. Teach.* **48** (2011) 1177-1198.
35. M. J. Sanger, *J. Chem. Educ.* **82** (2005) 131-134.
36. J. M. Nyachwaya, A. R. Mohamed, G. H. Roehrig, N. B. Wood, A. L. Kern and J. L. Schneiderd, *Chem. Educ. Res. Pract.* **12** (2011) 121-132.
37. C. Wood and B. J. Breyfogle, *J. Chem. Educ.* **83** (2006) 741-748.
38. S. Yitbarek, *J. Chem. Educ.* **1** (2011) 10-28.
39. K. Matic, *Alternativni koncepti o temeljnim kemijskim pojmovima – submikroskopska razina*, Diplomski rad, Prirodoslovno- matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.
40. H. D. Barke, *Two Ideas of the Redox Reaction: Misconception and their challenge in Chemistry Education*. Preuzeto s <http://www.ajol.info/index.php/ajce/article/download/82445/72600>, srpanj 2013.
41. G. M. Bodner and D. S. Domin, *University chemistry education.* **4** (2000) 24-30.
42. G. D. Chittleborough, D. F. Treagust and M. Mocerino, *Teaching and Learning Forum.* 1-7. Preuzeto s <http://otl.curtin.edu.au/tlf/tlf2002/abstracts/chittleborough-abs.html>, srpanj 2013.
43. X. Liu, *J. Chem. Educ.* **84** (2007) 1853-1857.
44. I. Devetak, M. Urbančić, K. S. Wissiak Grm, D. Krnel and S. A. Glazar, *Acta Chim. Slov.* **51** (2004) 799-814.
45. K. Jansoon, R. K. Coll and E. Somsok, *International Journal of Environmental & Science Education* **4** (2009) 147-168.
46. M. J. Sanger, E. Campbell, J. Felker and C. Spencer, *J. Chem. Educ.* **84** (2007) 875-879.
47. Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje, *Kvalitativna analiza ispita provedenih 2008. godine u OŠ*, Izvješće o projektu-fizika i kemija, Zagreb, 2010. Preuzeto s [http://dokumenti.ncvvo.hr/OS/Analiza/fiz\\_kem.pdf](http://dokumenti.ncvvo.hr/OS/Analiza/fiz_kem.pdf), veljača 2014.