Uporaba čestičnog crteža pri analizi, usvajanju, provjeri i unapređenju konceptualnog znanja u početnom poučavanju kemije

Šimičić, Sanda

Doctoral thesis / Disertacija

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:166:639156

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Science

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Sanda Šimičić

UPORABA ČESTIČNOG CRTEŽA PRI ANALIZI, USVAJANJU, PROVJERI I UNAPREĐENJU KONCEPTUALNOG ZNANJA U POČETNOM POUČAVANJU KEMIJE

DOKTORSKI RAD

Split, 2018.

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Sanda Šimičić

UPORABA ČESTIČNOG CRTEŽA PRI ANALIZI, USVAJANJU, PROVJERI I UNAPREĐENJU KONCEPTUALNOG ZNANJA U POČETNOM POUČAVANJU KEMIJE

DOKTORSKI RAD

MENTOR: izv. prof. dr. sc. Draginja Mrvoš-Sermek

Split, 2018.



FACULTY OF SCIENCE

Sanda Šimičić

USAGE OF PARTICULATE DRAWING IN ANALYSIS, LEARNING, TESTING AND IMPROVEMENT OF CONCEPTUAL KNOWLEDGE IN THE INITIAL CHEMISTRY TEACHING

DOCTORAL THESIS

SUPERVISOR: associate professor Draginja Mrvoš-Sermek

Split, 2018.

ZAHVALE

Iskreno se zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Draginji Mrvoš-Sermek na bezrezervnoj stručnoj pomoći i susretljivosti. Hvala na ukazanom povjerenju, podršci u pripremi i provedbi istraživanja kao i pri izradi ovog rada.

Veliko i iskreno hvala dr. sc. Roku Vladušiću na strpljenju i korisnim savjetima koje mi je pružio tijekom provedbe istraživanja i izrade rada, a koji će mi biti značajni i u budućem nastavnom i istraživačkom radu.

Posebno se zahvaljujem kolegicama, učiteljicama kemije na pomoći i sudjelovanju u ovom istraživanju: Katarini Barković, prof., Josipi Banić, prof., Maji Jakovčević Bezić, prof., Ivani Marić Zerdun, prof., Ariani Marović, prof., Andrei Pehar, prof., Stelli Sonnenfeld, prof., Nini Stričević, prof., Ljerki Šarin, prof. i Branki Vuković. Hvala i svim učenicima koji su sudjelovali u ovom istraživanju.

Hvala ocjenjivačima, prof. dr. sc. Melihi Zejnilagić-Hajrić, izv. prof. dr. sc. Dragici Trivić, prof. dr. sc. Deanu Ajdukoviću, prof. dr. sc. Maji Paveli Vrančić i doc. dr. sc. Renati Odžak prije svega na izdvojenom vremenu i trudu uloženom u vrednovanje ovog rada te na korisnim komentarima i preporukama.

Neizmjernu i neizrecivu zahvalnost dugujem svojoj obitelji za beskrajno strpljenje, neiscrpnu i bezuvjetnu ljubav.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Splitu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Poslijediplomski sveučilišni studij
Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti

Doktorska disertacija

UPORABA ČESTIČNOG CRTEŽA PRI ANALIZI, USVAJANJU, PROVJERI I UNAPREĐENJU KONCEPTUALNOG ZNANJA U POČETNOM POUČAVANJU KEMIJE

SANDA ŠIMIČIĆ

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi može li čestični crtež primijenjen tijekom poučavanja sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli, utjecati na kvalitetu temeljnih znanja učenika osmih razreda osnovne škole. Glavni izvor podataka bio je kvazieksperiment proveden tijekom školske godine 2014./2015. Učenici tretmanske skupine (N=283) i komparabilne skupine (N=298) poučavani su prema istom metodičkom pristupu, s razlikom da učenici komparabilne skupine nisu koristili u nastavi čestični crtež. Rezultati završnog ispita znanja provedenog nakon poučavanja nastavnih sadržaja upućuju na različiti stupanj unapređenja konceptualnog razumijevanja u tretmanskoj i komparabilnoj skupini. Iako su obje skupine ispitanika napredovale od preliminarnog do završnog ispita znanja, rezultati statističkih testova u zadatcima završnog ispita znanja pokazali su da je konceptualno razumijevanje učenika tretmanske skupine vezano za koncept jednadžbe kemijske reakcije statistički značajno bolje u odnosu na komparabilnu skupinu. Završni ispit znanja nije utvrdio statistički značajnu razliku u konceptualnom razumijevanju disocijacije kiselina, baza i soli te neutralizacije između komparabilne i tretmanske skupine. Pogrešna shvaćanja prepoznata u preliminarnom ispitu znanja dijelom su zadržana i nakon poučavanja, ali znatno manje kod učenika tretmanske skupine.

(204 stranice, 54 slike, 37 tablica, 166 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)
Rad je pohranjen u Sveučilišnoj knjižnici u Splitu, Ruđera Boškovića 31, Split i Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici, Ul. Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb.

Ključne riječi: čestični crtež; jednadžba kemijske reakcije; konceptualno razumijevanje; početno poučavanje kemije; vodene otopine kiselina, baza i soli

Mentor: izv. prof. dr. sc. Draginja Mrvoš-Sermek
Ocjenjivači:
1. prof. dr. sc. Meliha Zejnilagić-Hajrić
2. izv. prof. dr. sc. Dragica Trivić
3. prof. dr. sc. Dean Ajduković
4. prof. dr. sc. Maja Pavela Vrančić
5. doc. dr. sc. Renata Odžak

Rad prihvaćen: 28. veljače 2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Split
Faculty of Science
Doctoral program
Science and Engineering Education Research

Doctoral Thesis

USAGE OF PARTICULATE DRAWING IN ANALYSIS, LEARNING, TESTING AND IMPROVEMENT OF CONCEPTUAL KNOWLEDGE IN THE INITIAL CHEMISTRY TEACHING

SANDA ŠIMIČIĆ

The aim of this study was to determine whether the particulate drawing applied following the instruction of aqueous solutions of acids, bases and salts affects the quality of basic knowledge of eighth grade elementary schools students. The research was conducted using a quasi-experimental design during the school year 2014–2015. Students in the treatment group (N = 283) and comparison group (N = 298) were instructed according to the same methodical approach, with the difference that the instruction of the comparison group did not include usage of particulate drawings. The results of the posttest conducted following the instruction of aqueous solutions of acids, bases and salts, showed a different rate of progress toward conceptual understanding of the treatment and comparison group. Although both groups of participants exhibited progress from pretest to posttest, the results of the statistical tests in the posttest items related to chemical equations showed that the conceptual understanding of the treatment group is statistically better compared to the comparison group. The posttest did not reveal a statistically significant difference in conceptual understanding of the dissociation of acids, bases and salts and neutralisation between the comparison and the treatment group. Misconceptions recognized in the pretest are partly retained after the instruction, but considerably less in the treatment group.

(204 pages, 54 figures, 37 tables, 166 references, original in Croatian)
Thesis is deposited in the University Library of Split, Ruđera Boškovića 31, Split and National and University Library, Ul. Hrvatske bratske zajednice 4, Zagreb.

Keywords: aqueous solutions of acids, bases and salts; chemical equations; conceptual understanding; initial teaching chemistry; particulate drawings

Supervisor: Associate Professor Draginja Mrvoš-Sermek, Ph.D.
Reviewers:
1. Professor Meliha Zejnilagić-Hajrić, Ph.D.
2. Associate Professor Dragica Trivić, Ph.D.
3. Professor Dean Ajduković, Ph.D.
4. Professor Maja Pavela Vrančić, Ph.D.
5. Assistant Professor Renata Odžak, Ph.D.

Thesis accepted: 28 February 2018

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI OKVIR 5

2.1. Kemijski triplet 5

2.2. Koncepti 9

2.2.1. Koncept čestične građe tvari 12

2.2.2. Pogrešna shvaćanja 13

2.2.3. Model konceptualne promjene 15

2.3. Modeli u nastavi prirodoslovlja 17

2.3.1. Uvjeti koje mora zadovoljiti dobar nastavni model 20

2.3.2. Umni modeli 22

2.3.3. Modeliranje 24

2.4. Čestični crtež 26

2.4.1. Čestični crtež u obrazovnim istraživanjima 29

2.4.2. Uporaba čestičnog crteža pri usvajanju i provjeri konceptualnog razumijevanja jednadžbe kemijske reakcije 39

2.4.3. Uporaba čestičnog crteža pri usvajanju i provjeri znanja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli 45

2.5. Provjera konceptualnog razumijevanja 49

2.6. Predmet i cilj istraživanja 52

2.6.1. Istraživačka pitanja 52

2.6.2. Varijable 53

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA 54

3.1. Paradigma i metodologijski pristup 54

3.2. Vrsta istraživanja 55

3.3. Izvor podataka 56

3.4. Uzorak kvazieksperimenta 56

3.4.1. Uzorak učenika 56
3.4.2. Uzorak učiteljica 58
3.5. Etička razmatranja 58
3.6. Nacrt istraživanja 59
3.7. Tretmanski čimbenici i modeli poučavanja 63
3.8. Mjerni instrumenti 67
3.9. Analiza podataka 69
4. REZULTATI I RASPRAVA 73
4.1. Ujednačenost komparabilne i tretmanske skupine prema nekim analiziranim obilježjima 73
4.2. Metrijske osobine ispita znanja i sposobnosti iz kemije 74
4.3. Analiza utjecaja primjene čestičnog crteža na rezultate učenika u završnom ispitu znanja 80
4.4. Analiza utjecaja primjene čestičnog crteža na rezultate pojedinačnih zadataka u završnom ispitu znanja 82
4.5. Usporedba rezultata tretmanske i komparabilne skupine prema spolu 84
4.6. Usporedba rezultata i pogrešnih shvaćanja tretmanske i komparabilne skupine u pojedinačnim zadatcima preliminarnog ispita znanja 87
4.7. Usporedba rezultata i pogrešnih shvaćanja tretmanske i komparabilne skupine u pojedinačnim zadatcima završnog ispita znanja 101
5. ZAKLJUČAK 133
5.1. Prednosti istraživanja 135
5.2. Ograničenja istraživanja 136
5.3. Implikacije za daljnja istraživanja 137
6. POPIS LITERATURE 138
7. SADRŽAJ PRILOGA 153
8. ŽIVOTOPIS 200

1. UVOD

Suvremeno društvo, obilježeno brzim tehnološkim i znanstvenim razvojem, zahtijeva brzu prilagodbu obrazovnih sustava s ciljem stjecanja trajnih znanja manjeg opsega metodama aktivnog poučavanja. Stoga se sve veći značaj pridaje temeljnim znanjima koja predstavljaju podlogu za permanentno, cjeloživotno učenje.

Rezultati brojnih obrazovnih 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. Živimo u vremenu u kojemu je svakodnevni život u usporedbi s virtualnom stvarnošću učenicima nedovoljno zanimljiv. Virtualna stvarnost je poticajna, interakcija u računalnim igrama je brza, a razina audio-vizualne stimulacije visoka. Usvajanje nastavnih sadržaja odvija se na nižim razinama stimulacije, pa ga učenici doživljavaju kao monoton proces koji zahtijeva znatan napor. Interesi učenika su kratkotrajni i promjenjivi, a komunikacija koja se odvija putem računalnih igara i društvenih mreža najčešće je površna.

Kako u opisanim okolnostima učenike motivirati i zainteresirati za nastavu? Učenje je složeni psihički proces kojim se danas bave različite grane znanosti. Temeljem različitih spoznaja o načinima i mogućnostima učenja, znanstvenici ga objašnjavaju različitim didaktičkim teorijama. Polazna osnova konstruktivističke teorije i njenog pristupa nastavi i didaktici je kritika nedovoljne učinkovitosti tradicionalne nastave koja se temelji na mehaničkom učenju i usvajanju informacijskih sadržaja. Prema konstruktivistički shvaćenom učenju u prvom planu je aktivnost učenika, uključenost u ono što se uči, sudjelovanje u istraživačkim aktivnostima i rješavanju problema te suradnja s drugima. "Poticaji za učenje ne izviru samo iz nastavnog sadržaja, već i iz neposrednih postupaka učenja. Učenici više vole one načine rada koji stvaraju zadovoljstvo. To zadovoljstvo je veće što su nastavne metode i oblici različitiji, ako učenici suodlučuju i sudjeluju već u postavljanju nastavnih ciljeva i zadataka u samom tijeku nastave, ako što samostalnije provjeravaju i ocjenjuju rezultate učenja te ih uspoređuju s prijašnjim postignućima i slično" (Strmčnik, 2001). U skladu s tom postavkom, konstruktivistički pristup učenicima omogućava prožimanje znanja i iskustava, povezivanje različitih znanstvenih disciplina, a samim time i smislenost, shvaćanje svijeta u njegovoj punini i suštini, dopunjavanje i razvijanje svjetonazora kojega će u budućnosti ugrađivati u sveukupno shvaćanje života (Jukić, 2013). Konstruktivistički orijentiran nastavnik

potiče i prihvaća učeničku samostalnost i inicijativu; koristi široku paletu nastavnih materijala i motivira učenike da ih koriste; raspituje se i nadgleda učeničko razumijevanje koncepata prije no što objasne vlastito razumijevanje tih pojmova; potiče učenike da se uključe u dijalog s nastavnikom i međusobno; potiče učenike na postavljanje otvorenih pitanja koja ne zahtijevaju jednoznačan odgovor, postavlja pitanja učenicima i potiče ih da postavljaju pitanja jedni drugima; traži promišljanja učeničkih inicijalnih odgovora; upoznaje učenike u iskustvima koja pokazuju proturječnosti u odnosu prema početnim razumijevanjima i potiče raspravu; osigurava učenicima vrijeme za izgradnju međuodnosa i uspoređivanja; omogućava učenicima razumijevanje kroz primjenu i učinkovitost otvorenih zadataka (Brooks i Brooks, 1993).

Jedan od temeljnih obrazovnih ciljeva u zemljama diljem svijeta je stjecanje prirodoznanstvene pismenosti što podrazumijeva svjesnost o znanosti i tehnologiji kao međuovisnim ljudskim djelatnostima s prednostima i nedostacima; razumijevanje ključnih pojmova i načela znanosti; poznavanje prirodnog svijeta i prepoznavanje raznolikosti i jedinstva u njemu; korištenje znanstvenog znanja i načina mišljenja za postizanje individualnih i društvenih ciljeva (Rutherford i Ahlgren, 1990). Pri tome, nastojanja su usmjerena na razvijanje kognitivnih vještina višeg reda što podrazumijeva rješavanje problema, razvoj kritičkog mišljenja i donošenje odluka (Zoller, 2000). Slično navodi i Nacionalni okvirni kurikulum (2011): „Pojedinac je prirodoznanstveno opismenjen ako razumije i usvoji potrebu cjeloživotnoga obrazovanja, ako usvoji znanstveni koncept, metode, postupke i načela u donošenju odluka te usmjeri znanje i vještine stečene obrazovanjem za stvaralačko rješavanje problema“.

Znanje prirodoslovlja može se izravno primijeniti na gotovo sva područja života i društva, od poboljšanja zdravlja ljudi do razumijevanja i rješavanja lokalnih, regionalnih i globalnih ekoloških pitanja. Učenici trebaju rano steći znanje o prirodoslovlju kako bi mogli sudjelovati u javnim raspravama o važnim društvenim pitanjima te kako bi u budućnosti mogli pridonositi društvu svojim radom na različitim područjima znanosti, medicine i tehnologije (TIMSS[1], 2012). Nažalost, opetovana istraživanja (Jokić, 2008; Marušić, 2006) provedena u Hrvatskoj pokazuju da su stavovi učenika osnovnoškolske dobi prema prirodoznanstvenim školskim predmetima uglavnom negativni (Domazet, 2009). Prema Marušić (2006), prirodoznanstveni predmeti u hrvatskom primarnom obrazovanju najmanje su omiljeni školski predmeti, što je najizraženije u slučaju Kemije, a najmanje izraženo u slučaju Biologije. Nešto

[1] Međunarodno istraživanje trendova u znanju matematike i prirodosovlja

detaljnija analiza koja slijedi nakon svojevrsnog rasterećenja i restrukturiranja osnovnoškolskih nastavnih sadržaja 2006. g. ukazuje na daljnje odstupanje Biologije od negativnoga trenda, ponajprije zbog primjenjivosti sadržaja na vlastiti život (Jokić, 2008). Izraženi negativni stav prema Fizici i Kemiji se učvršćuje, a Kemija ostaje najmanje omiljen školski predmet. Jokić (2008.) zaključuje da su za takve rezultate zaslužne visoka razina apstrakcije, "nevidljivost" poveznice sa svakodnevnim životom učenika i veliko oslanjanje predmetnih sadržaja na matematičke vještine.

Kako promijeniti negativan stav prema Kemiji? Nastavni plan i program za osnovnu školu (HNOS[2], 2006) postavljen je kao temelj promjena ne samo nastavnih sadržaja već i metoda učenja i poučavanja na primarnoj obrazovnoj razini što bi u konačnici trebalo rezultirati i s promjenom negativnog stava prema Kemiji. HNOS definira ciljeve nastave Kemije u osnovnoj školi: uvođenje učenika u znanstveni način razmišljanja, odgoj za razuman odnos prema prirodi i čovjekovoj okolini, stjecanje korisnih kemijskih znanja te osposobljavanje učenika za primjenu kemijskih znanja u svakodnevnom životu, tehnici i proizvodnji. Pri tome ističe važnost razvoja interesa učenika prema prirodnim znanostima, osposobljenost za opisivanje i objašnjavanje kemijskih pojava te samostalno rješavanje kemijskih problema. Navedeni ciljevi mogu se ostvariti ukoliko učenik do spoznaja dolazi aktivnim metodama i to ponajprije učeničkim pokusom. Učenje Kemije treba biti iskustveno pri čemu učenik svoje sposobnosti razvija praktičnim, perceptivnim i misaonim djelovanjem.

Usprkos jasnim smjernicama HNOS-a, u našim školama prevladava predavačka nastava, a pokusi se najčešće izvode kao ilustracija protumačenoga. Takav oblik nastave podupiru nastavni programi i udžbenici usmjereni na učenje činjenica (Sikirica, 2004).

Iz svega navedenog proizlazi potreba redovitog izvođenja učeničkog pokusa kako bi se uspostavila veza između makroskopskog svijeta i submikroskopskog svijeta čestica, što pred nastavnika stavlja veliki izazov u smislu odabira odgovarajućih primjera, modela i drugih nastavnih sredstava te implementacije nastavnih metoda i strategija.

Jedan od mogućih načina da se učenicima približi submikroskopska razina je uporaba čestičnog crteža, dvodimenzijskog modela koji pomaže učenicima da vizualiziraju nevidljivi svijet čestica (Šimičić i Mrvoš-Sermek, 2016). Poteškoće učenika u poimanju submikroskopske razine i njenom povezivanju s ostalim razinama potakle su istraživanje u osmom razredu osnovne škole kako bi se utvrdili učinci učenja kemije primjenom čestičnog crteža. Istraživanja

[2] HNOS-Hrvatski nacionalni obrazovni standard

stranih autora utvrdila su povezanost uporabe čestičnog crteža i odgojno obrazovnih rezultata (Bridle i Yezierski, 2012; Cheng i Gilbert, 2014; Nyachwaya i sur., 2014; Sanger, 2000; Warfa i sur., 2014). U Hrvatskoj do sada nije provedeno niti jedno značajnije istraživanje o uporabi čestičnog crteža u nastavi kemije i njegovom utjecaju na konceptualno razumijevanje sadržaja.

Cilj ovog istraživanja je utvrditi može li čestični crtež primijenjen tijekom poučavanja sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli, utjecati na kvalitetu temeljnih znanja učenika osmih razreda osnovne škole. Namjera je bila i utvrditi u kojoj je mjeri korištenje čestičnog crteža učinkovito u učenju i poučavanju učenika osmih razreda osnovne škole. U slučaju pozitivnih rezultata učiteljima će se predložiti korištenje ovog nastavnog sredstva, naglašavajući da kvalitetnu nastavu karakterizira primjena različitih nastavnih sredstava i metoda.

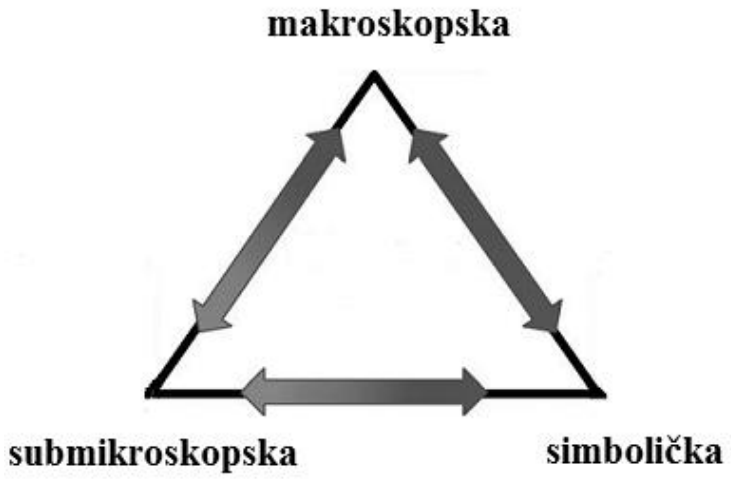
2. TEORIJSKI OKVIR

2.1. Kemijski triplet

Kemija je bez obzira na obrazovni sustav, društveno, političko i ekonomsko okruženje u nekoj zemlji najčešće opisana kao iznimno težak nastavni predmet. Kemijski sadržaji su primjenjivi u nizu svakodnevnih situacija no njihovo usvajanje za učenike je teška zadaća. *Zašto je to tako?*

Suvremeno poučavanje kemije odvija se na tri jednako važne razine: makroskopskoj, submikroskopskoj (čestičnoj) i simboličkoj (Johnstone, 1993). Ovaj kemijski triplet (slika 2.1) postao je paradigma u području kemijskog obrazovanja te predstavlja teorijski okvir istraživanja u kemijskom obrazovanju i ideju vodilju u različitim kurikulskim projektima te pisanju udžbeničke literature (Talanquer, 2011).

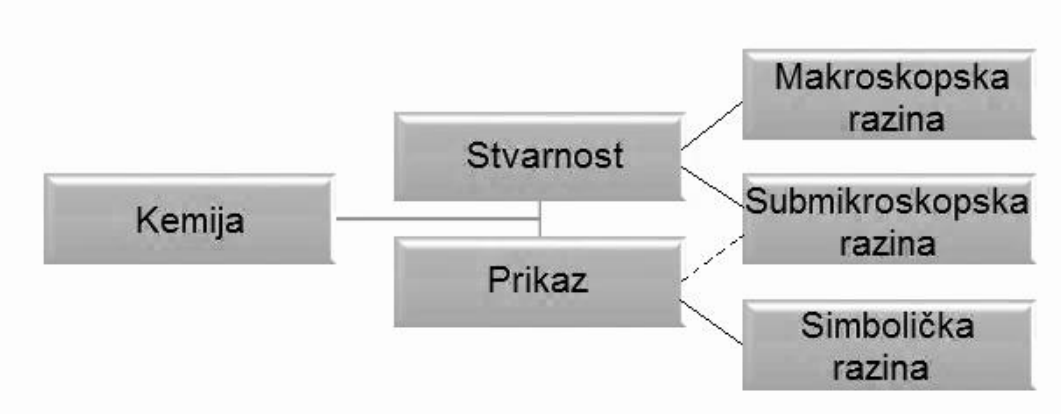
Makroskopska razina obuhvaća osjetilna, makroskopska svojstva tvari pa većina učenika na ovoj razini iskustvenim učenjem kroz pokuse, analizom opažanja i dobivenih rezultata uspješno usvaja i razlikuje temeljne kemijske pojmove.



Slika 2.1. Johnstonov trokut-razine poučavanja kemije (Johnstone, 1993)

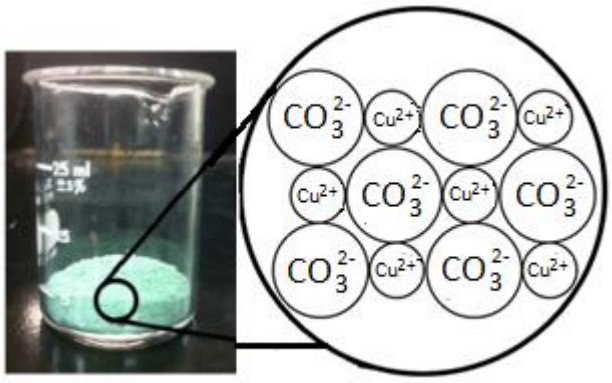
Potom se na *submikroskopskoj razini*, uporabom čestičnog modela, učenicima objašnjavaju opažene pojave. Na ovoj razini čestični model pomaže u vizualiziranju apstraktnih pojmova atoma, molekula i iona te njihovih međudjelovanja (Prilliman, 2014). Uporaba *simbola* omogućava kemičarima jednostavnu i 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. Makroskopska razina je stvarna, dostupna izravnom osjetilnom opažanju. Simbolička razina je prikaz stvarnosti. Submikroskopska razina temelji se na stvarnim opažanjima, ali ipak zahtijeva teoriju koja objašnjava promjene na čestičnoj razini pa predstavlja sponu između stvarnosti i prikaza (slika 2.2).



Slika 2.2. Odnosi među razinama poučavanja (Chittleborough, 2004)

Općenito, svi kemijski koncepti koji se poučavaju tijekom obrazovanja formiraju se kao kombinacija ovih triju razina (slika 2.3). Primarni cilj u poučavanju kemije trebao bi biti konceptualno razumijevanje kemijskih pojmova što se postiže samo ukoliko se sve tri razine međusobno nadopunjuju i isprepliću (Becker i sur., 2015; Devetak i sur., 2009, Gabel, 1999; Nelson, 2003).



$CuCO_3(s)$

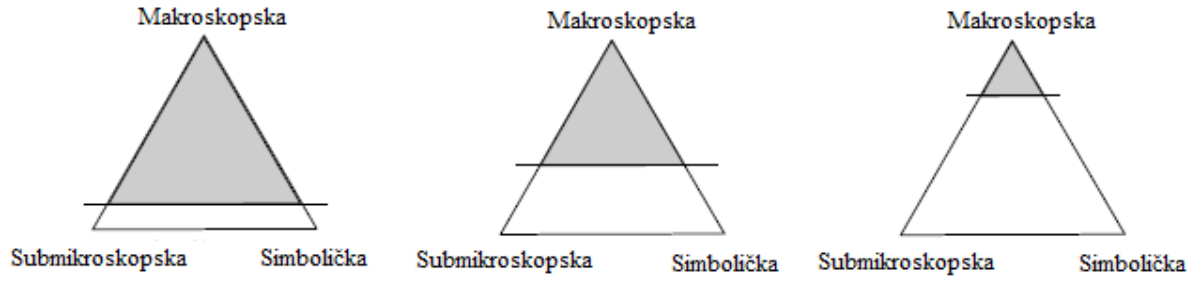
simbolička makroskopska submikroskopska

Slika 2.3. Primjer kemijskog tripleta. Kemijski spoj bakrov(II) karbonat simbolički je prikazan kemijskom formulom. U kemijskom laboratoriju susreće se u obliku svijetlo plave krutine. Submikroskopska razina prikazana je crtežom motiva kristalne strukture (Prillman, 2014).

Ova zadaća ne predstavlja problem kemijskim stručnjacima koji posjeduju široku paletu metodičkog znanja no početnici često ne povezuju makroskopska svojstva tvari s njihovim sastavom i građom na submikroskopskoj razini.

Tradicionalno poučavanje kemije dominantno se odvija na simboličkoj razini, iako ova apstraktna razina ne omogućava kvalitetno i cjelovito objašnjenje kemijskih procesa te konceptualno razumijevanje kemijskih pojmova (Gabel, 1999; Nakleh, 1993; Nurrenbern i Pickering, 1987; Sawrey, 1990). Također, često se u nastavnoj praksi trudimo što prije dostići drugu i treću razinu, pa izostaje njihova poveznica s makroskopskom razinom koju je jedino moguće izravno percipirati (Nelson, 2002).

Pojedini autori smatraju da je u početnom poučavanju kemije makroskopska razina ključna i da je rano uvođenje submikroskopske i simboličke razine često uzrok negativnog stava prema kemiji kod mlađih učenika (Tsaparlis, 2009). Isti autor navodi da bi autori udžbenika i kurikuluma kemije trebali razmotriti potrebu za proširivanjem kemijskih sadržaja koji se odnose na makroskopsku razinu. U skladu s tim Georgiadou i Tsaparlis (2000) su predložili takozvani „*tricikličkи model nastave"*, prema kojemu se tri razine nastavnih sadržaja izučavaju u tri ciklusa. U prvom, makro-ciklusu prevladava poučavanje na makroskopskoj razini. Ključnu ulogu imaju kemijski pokusi tijekom kojih učenici upoznaju tvari i njihova svojstva. Udio simboličke i submikroskopske razine raste u drugom i trećem ciklusu. Za ovakav model nastave Chittleborough (2004) je predložila naziv „*rastući ledeni brijeg*" (slika 2.4).

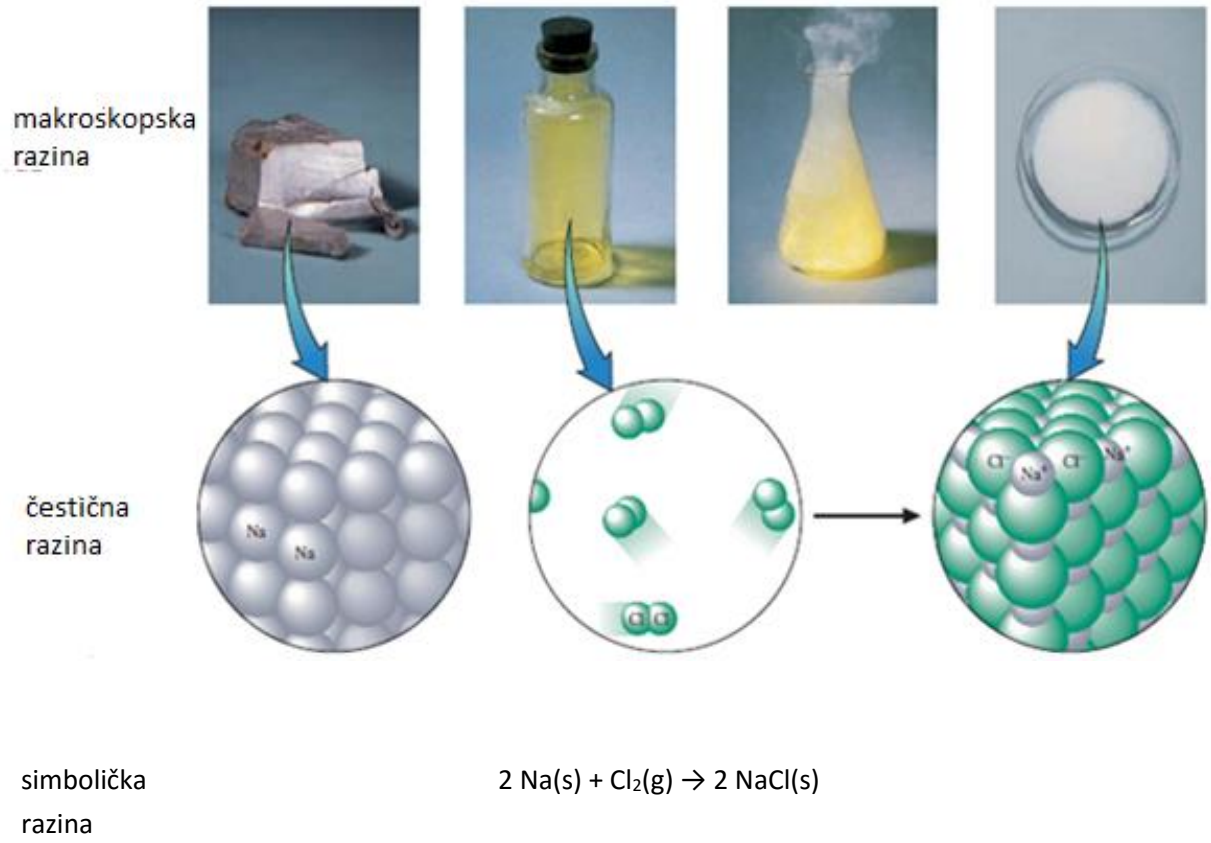


Slika 2.4. Rastući ledeni brijeg (Milenković prema Chittleborough, 2004)

Makroskopska razina je najprikladnija za početnike, pa stoga treba uvijek biti uključena u nastavni proces u primarnom obrazovanju. Simbolička i submikroskopska razina uvode se postupno tek kada učenici dostignu više kognitivne razine.

U sveučilišnim udžbenicima kemije koncept kemijske promjene objašnjava se u skladu s tripletnim modelom. Poučavanje kemijske reakcije natrija i klora počinje s makroskopskom

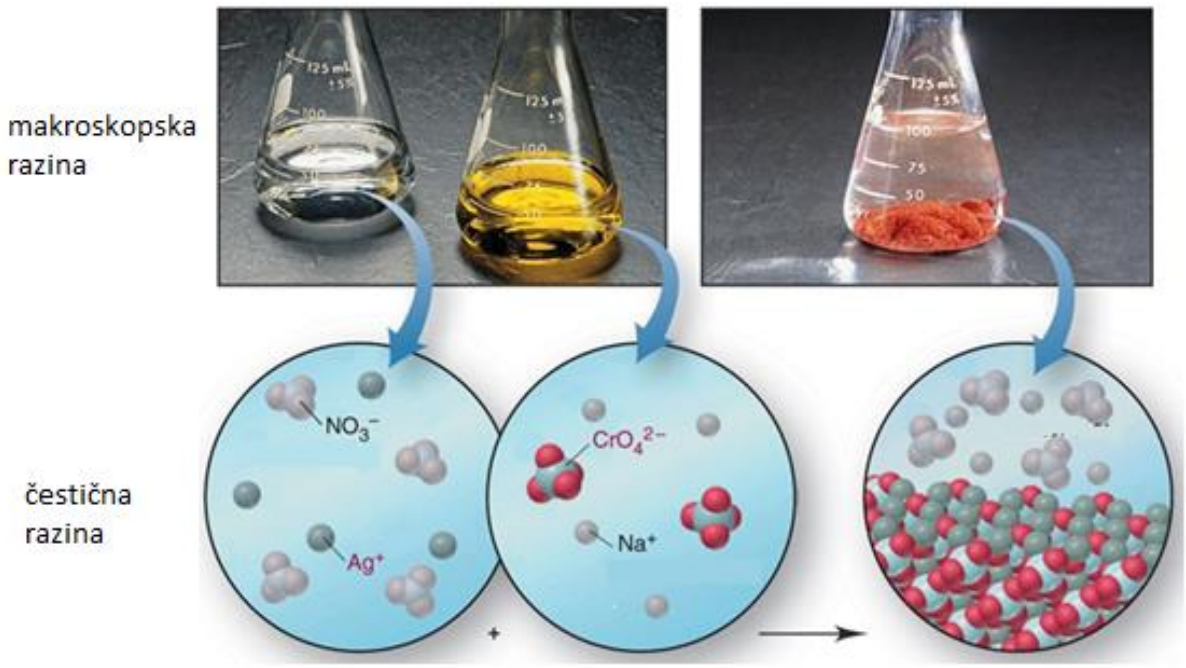
razinom, slijedi submikroskopska kojom je objašnjena čestična priroda tvari te na kraju simbolička razina koja uključuje jednadžbu kemijske reakcije (slika 2.5). Ovakav metodički pristup omogućava ne samo studentima već i učenicima povezivanje triju razina.



Slika 2.5. Shematski prikaz reakcije natrija i klora (Zumdahl i Zumdahl, 2007)

Silberberg (2006) u svom udžbeniku koristi čestični crtež taloženja srebrova(I) kromata na kojemu molekule vode nisu pojedinačno prikazane već ih predstavlja plava boja unutar okvira crteža (slika 2.6).

Talog srebrova(I) kromata prikazan je kao slagalina ionskog spoja u dvije dimenzije. Natrijevi i nitratni ioni prikazani su kao da „plutaju“ iznad taloga. Navedeni ioni ne sudjeluju u reakciji taloženja, pa ih nazivamo „ionima promatračima“.



Slika 2.6. Shematski prikaz taloženja srebrova(I) kromata (Silberberg, 2006)

U hrvatskim osnovnoškolskim udžbenicima nedovoljno je čestičnih prikaza kemijskih reakcija i oni ne slijede tripletni model pa ih učenici često doživljavaju kao pasivne modelne prikaze. Udžbenička literatura trebala bi poticati poučavanje pojmova na sve tri razine sukladno s kognitivnim razvojem i kemijskim predznanjem učenika.

2.2. Koncepti

Koncept (lat. *conceptus*, eng. *concept*) označava ideju ili uopćenu predodžbu koja nastaje na temelju iskustva (ili sklopa informacija) pojedinaca, a koja sažima zajedničke značajke pojedinačnih pojava ili entiteta koje karakteriziraju koncept (Lukša i sur., 2013). Koncepte možemo definirati i kao pakete značenja; oni obuhvaćaju pravilnosti (sličnosti i razlike), uzorke, ili veze među objektima, događajima i drugim konceptima. Mogli bismo reći da koncept čine sve pojavnosti u realnom ili u apstraktnom (imaginarnom) svijetu (Bastić, 2011). Tako koncept može biti jednostavan pojam kao što je „oblak“ ili „knjiga“, ili pak apstraktan kao npr. „ion“ ili „elektronski omotač“.

Koncepti nisu jednoznačno određeni. Naime, u različitim kontekstima koncepti mogu imati različita značenja i mogu se upotrebljavati u različite svrhe. Značenje koncepta proizlazi iz mnoštva propozicijskih odnosa u kojima on sudjeluje (Krsnik, 2008).

Prilikom upoznavanja svijeta oko sebe i učenja o njemu, u mozgu se stvaraju umne slike ili predodžbe materijalne stvarnosti (Vizek-Vidović i sur., 2003). Dijete upoznaje svoju okolinu tako da ispituje novi predmet uspoređujući ga s već stvorenim predodžbama ili umnim konstrukcijama koje ima na osnovi iskustava. Piaget (1952, 1970) u svojim radovima ističe da se kod djece svako poučavanje mora temeljiti na već usvojenom znanju, jer i mala djeca imaju svoju sliku svijeta, svoja iskustva i predkoncepcije koje su stekli u dotadašnjem životu i koje im omogućuju razumijevanje svijeta. Obradom novih situacija i pojava te usvajanjem novih relacija koncepti se razvijaju i dobivaju još neka nova značenja. Sve informacije koje se uklapaju u postojeći mentalni obrazac, nadopunjuju ga i produbljuju. Međutim, iskustva koje se ne uklapaju u postojeći okvir zahtijevaju stvaranje novih umnih konstrukcija. Mozak teži pronalaženju smisla i značenja svakog novog iskustva. Kada se uspostavi značenje koje odgovara konstruktu na razini uopćavanja i apstrakcije, nastaje koncept. Prema tome, oblikovanje koncepta način je pohranjivanja informacija u pamćenje, jer na osnovi pojedinačnih primjera uočavamo zajedničke karakteristike ili obrazac i tako ga pamtimo (Vizek-Vidović i sur., 2003). Pamćenje organizirano na taj način je učinkovitije i trajnije od gomilanja nepovezanih pojedinačnih informacija (Krsnik, 2008). Čestim ponavljanjem i uvježbavanjem novi se koncepti usidre u postojećem znanju. Važno je istaknuti da svaki pojedinac pronalazi svoje putove oblikovanja koncepta, jer se oni temelje na iskustvima pojedinca i nisu samo kognitivni, već na njih utječu i emocionalni, socijalni i kulturni čimbenici. Usvajanje koncepata je dugotrajan proces pri kojemu se koncepti nikada ne razviju do konačnog, završnog oblika, niti u svijesti osobe niti u korpusu znanja znanosti. Kemija obiluje primjerima kojima se to može ilustrirati: kemijska veza, elektron, elementarni električni naboj itd., a čak i za neke temeljne koncepte kao što je tvar danas ne postoji dogovorena i usklađena definicija.

Predkoncepcije ili intuitivne ideje su rezultat formalnog ili neformalnog prethodnog učenja koje mogu, ali i ne moraju biti u skladu sa znanstvenim spoznajama (Talanquer, 2006). Nastaju iz potrebe da se protumače pojave iz svakodnevnog života. Struktura mozga, rano upoznavanje okoline, utjecaj jezika, informacije koje učenik čuje, vidi ili čita izvan škole i iskustva iz učionice igraju ulogu u stvaranju predkoncepata. Većina učenika na nastavu dolazi s nizom predkoncepcija koje mogu značajno ograničavati ili onemogućavati razumijevanje

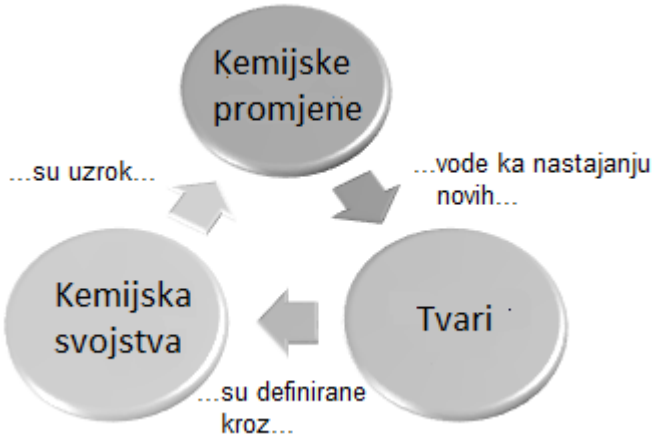
novih koncepata u nastavi. Tako na primjer, ako učenike sedmog razreda pitamo što se događa s kockom leda na sobnoj temperaturi, veliki broj učenika će odgovoriti da se led *otapa,* oslanjajući se pri tome na saznanja iz svakodnevnog života. Novi nastavni sadržaji tumače se kroz prizmu postojećih predkoncepata. Ukoliko nastavnik ne primijeti takve pogrešne predkoncepte na vrijeme, velika je vjerojatnost da će se predkoncepti razviti u pogrešna shvaćanja. Događa se i da učenik koristi jedan način razmišljanja u rješavanju znanstvenih problema, a drugi u svakodnevnom životu.

Na početku školovanja učenici formiraju *konkretne koncepte* (na temelju onoga što vide, čuju, s čim rukuju), a tijekom kognitivnog razvoja formiraju se *apstraktni koncepti* (ion, valencija, demokracija i dr.) te *procesni koncepti* (objašnjavaju kako se neki procesi događaju, npr. sinteza bjelančevina, model djelovanja enzima i dr.).

Prema vremenu i načinu nastanka razlikujemo dvije vrste koncepata: *primarne* i *sekundarne* (Skemp, 1989). Primarni koncepti su novi koncepti u nekoj logičkoj shemi. Sekundarni koncepti se razvijaju procesima apstrakcije iz primarnih koncepata, uz uvjet da sekundarni koncept ne može biti formiran ako prije nisu formirani svi koncepti potrebni za njegovu apstrakciju. Pojam atom možemo shvatiti kao primarni koncept. Da bi formirali pojam kemijskog spoja na čestičnoj razini, osim pojma atoma mora biti formiran i pojam kemijskog elementa, molekule i iona te je stoga pojam kemijskog spoja sekundarni koncept. Ovo upućuje na dodatan oprez pri poučavanju, jer treba voditi računa imaju li učenici ispravno formirane sve koncepte koji se pojavljuju u novoj definiciji (Bastić, 2011). Tijekom školovanja učenici neprestano usvajaju nove koncepte, a nerijetko jedan koncept objedinjuje više drugih koncepata. Ukoliko učenik razumije temeljni koncept biti će sposoban primijeniti ga i formirati nove koncepte.

S navedenim se slaže Taber (2002) navodeći razloge zbog kojih usvajanje znanstvenih koncepata može biti otežano:

- kemijski koncepti su obično definirani pravilima,
- pravila je obično teško objasniti,
- definiranje koncepta najčešće je jedino moguće povezivanjem s drugim konceptima koji također trebaju biti definirani – konceptualni „krug“ (slika 2.7).



Slika 2.7. Konceptualni "krug" (Taber, 2002)

Kako bi se učenicima olakšalo usvajanje kemijskih koncepata, Taber (2002) predlaže nekoliko aktivnosti koje treba slijediti:

- upoznavati učenika s pravilom ili definicijom koncepta,
- obraditi nekoliko specifičnih i nekoliko nespecifičnih primjera,
- propitkivanjem (razgovorom s učenicima) provjeriti njihovo razumijevanje zašto nešto je, a zašto nešto nije primjer koncepta,
- provesti praktičnu vježbu s mnogo primjera i „ne primjera“,
- tražiti od učenika da budu jasni u njihovim objašnjenjima tijekom vježbe.

U skladu sa suvremenom konstruktivističkom paradigmom učenja kemije učenici do definicije pojedinih koncepata trebaju sami doći uz praktičan rad i heuristički razgovor. Samostalnim radom učenici moraju aktivirati svoje predznanje. Vrlo često predznanje učenika nije u skladu s nastavničkim očekivanjima, a kao posljedica toga dolazi do daljnjeg produbljivanja ili stvaranja pogrešnih shvaćanja kod učenika što značajno utječe na njihovo buduće učenje. Prema tome, saznanje da postoji određeno predznanje nije dovoljno. Stoga nastavnik mora procijeniti predznanje učenika kako bi se osiguralo kvalitetno usvajanje novih nastavnih sadržaja. Ukoliko se utvrdi da je postojeća struktura znanja manjkava, učenicima treba pomoći da je tijekom nastavnog procesa restrukturiraju.

2.2.1. Koncept čestične građe tvari

Čestična građa tvari je temeljni kemijski koncept koji podupire razumijevanje mnogih drugih kemijskih koncepata (Ben-Zvi i sur., 1986; Singer i Wu, 2003). Pozivajući se na važnost

čestične građe tvari, Margel i sur. (2008) napominju da razumijevanje ovog koncepta omogućava razumijevanje prirodnih pojava u svijetu koji nas okružuje. Poučavanje ovog apstraktnog i složenog koncepta za nastavnike predstavlja izazov jer učenici teško vizualiziraju nevidljivi svijet čestica. Koncept čestične građe tvari utemeljen je na sljedećim tvrdnjama: tvari su građene od čestica, svojstva tvari proizlaze iz građe i međudjelovanja čestica, čestice se stalno gibaju, a između njih se nalazi prazan prostor. Većina učenika ne zna primijeniti ovaj koncept pri rješavanju kemijskih problema iako je čula za ovu znanstveno prihvaćenu ideju (Amiot, 2007; Bergliot Ɵyehaug i Hault, 2013; Chiu, 2005; Harrison i Treagust, 2002; Sanger, 2000; Tsai, 1999). Učenici teško shvaćaju da se između čestica nalazi prazan prostor jer se ova znanstvena tvrdnja ne podudara s iskustvima svakodnevnog života, primjerice, opažanjem da je kapljica vode cjelovita. Ovo makroskopsko opažanje razlog je što učenici često ne prihvaćaju činjenicu da se kapljica vode sastoji od velikog broja čestica koje se međusobno privlače, a između njih se nalazi prazan prostor. Nerazumijevanje ovog koncepta pripisuje se i neučinkovitom poučavanju, nedostatnom nastavničkom razumijevanju te pogrešnim i nepreciznim prikazima u udžbenicima (Harrison i Treagust, 2002).

Ovaj rad ističe potrebu analize, provjere i unapređenja konceptualnog razumijevanja čestične građe tvari.

2.2.2. Pogrešna shvaćanja

Prema saznanjima iz nastavne prakse, konstrukcije učenika su sasvim idiosinkratične, što znači da će nakon učenja i poučavanja novog koncepta svaki učenik formirati vlastitu verziju istog koja će se u izvjesnoj mjeri razlikovati od ostalih. Često se pri provjeri učeničkog razumijevanja otkriva da tumačenja temeljnih koncepata nisu u skladu sa znanstvenim spoznajama, odnosno da postoje pogrešna shvaćanja. Za razliku od predkoncepata, pogrešna shvaćanja (engl. *misconception*) nastaju tijekom formalnog učenja kao mješavina intuitivnih ideja i kemijskih ideja proizašlih iz potrebe objašnjavanja kemijskih koncepata i pojava iz svakodnevnog života. Pogrešna shvaćanja možemo prevesti i kao pogrešne predodžbe, alternativne koncepcije, ideje ili zamisli te pogrešne umne modele.

Prema Fisheru (1985) pogrešna shvaćanja imaju neke zajedničke osobine:

- u suprotnosti su sa znanstvenim konceptima,
- postoji tendencija da se ista pogrešna shvaćanja često pojavljuju kod većeg broja ljudi,

- pogrešna shvaćanja su vrlo otporna na promjenu, a posebice kad se u poučavanju koristi tradicionalna predavačka metoda,
- neka pogrešna shvaćanja ponekad uključuju čitave alternativne sustave koji su čvrsto logički povezani i koje učenici često koriste,
- neka pogrešna shvaćanja su povijesna, tj. proizlaze iz teorija koje su u znanosti prevladane,
- pogrešna shvaćanja mogu nastati kao rezultat automatske obrade jezične strukture bez korekcije smisla, mogu biti posljedicom određenih iskustava koja su obično zajednička većem broju pojedinaca i nastaju tijekom nastave u školi, odnosno pogrešnim tumačenjem udžbeničkog gradiva.

Veliki broj dosadašnjih istraživanja u području kemijskog obrazovanja bio je usmjeren ka prepoznavanju i otklanjanju uočenih pogrešnih shvaćanja. Tako su do sada istražena pogrešna shvaćanja povezana s nizom kemijskih tema: *agregacijska stanja i vrste tvari* (Onwu i Randall, 2006; Sanger, 2000; Stains i Talanquer, 2007; Toth i Kiss, 2006), *građa tvari* (Al-Balushi i sur., 2012), *atomske strukture* (Harrison i Treagust, 2000), *kemijske reakcije* (Davidovitz i sur., 2010; Sanger, 2005; Yitbarek, 2011), *procesi isparavanja i kondenzacije* (Halakova i Prokša, 2007), *kemijske veze* (Coll i Treagust, 2003; Coll i Treagust, 2003), *otopine kiselina, baza i soli* (Devetak i sur., 2009; Nakhleh, 1994), *elektrokemijski procesi* (Barke, 2012) i dr.

Formalno kemijsko obrazovanje učenici započinju ne samo s predkoncepcijama već i pogrešnim shvaćanjima povezanim s nastavnim sadržajima koji će se poučavati (Adadan, 2006; Mayer, 2011). Nažalost, kemijsko obrazovanje mogu okončati s istim ili čak novim pogrešnim shvaćanjima (Barke, 2012; Eilks i sur., 2002; Ozmen i Ayas, 2003; Smith i Villarreal, 2015; Talanquer, 2013). Kad se od učenika zahtijeva obrazloženje odabranog odgovora na neko pitanje, nije neobično da se, unatoč točno odabranom odgovoru, utvrdi postojanje pogrešnog shvaćanja. Taner i Allen (2005) ističu da učenički pogrešni odgovori mogu biti najbolji alat u poučavanju i kreiranju uspješnoga učenja i usvajanja znanja koja odgovaraju znanstvenim spoznajama. Važno je da nastavnici budu svjesni postojanja učeničkih predkoncepcija i pogrešnih shvaćanja da bi ih uključili u planiranje poučavanja. Zbog toga treba prvo utvrditi učeničke predkoncepcije, prepoznati moguća pogrešna shvaćanja koja bi mogla ometati učenje, a potom pružiti mogućnosti za povezivanje starih i novih ideja (Lukša i sur., 2013). S ciljem ostvarivanja navedenog, Smith i Anderson (1984) predlažu sljedeće ishode učenja u obrazovanju nastavnika:

- steći spoznaje o važnosti konceptualnog razumijevanja,
- poznavati strategije korisne u postizanju konceptualnih promjena,
- poznavati uobičajena pogrešna shvaćanja za važne teme i specifične strategije za njihovo prevladavanje,
- steći vještine u prilagodbi kurikulskih materijala na temelju učeničkih predkoncepcija,
- steći vještine u dijagnosticiranju učeničkih pogrešnih shvaćanja, posjedovati teoretska znanja, ali i vještine opažanja situacije i prilagođavanja potrebama učenika.

Nastavnici često u želji da učenicima približe neki pojam koriste metaforu ili analogiju. Metaforički jezik ovisi o sofisticiranim jezičnim vještinama učenika i ukoliko ih oni nemaju, metafore mogu doprinijeti nastanku pogrešnih shvaćanja (Taber, 2002). Ponekad učenik mijenja značenje nastavnikovih riječi kako bi se one uklopile u njegov postojeći konceptualni okvir čega nisu svjesni ni učenik ni nastavnik do trenutka vrednovanja i ocjenjivanja znanja (Talanquer, 2006). Pogrešna shvaćanja nerijetko proizlaze i iz pogrešnih i neprikladnih prikaza u udžbenicima kemije (Taber, 2002). Važno je naglasiti da i nastavnici nisu „imuni“ na pogrešna shvaćanja koja značajno utječu na učenikovo razumijevanje kemijskih koncepata (De Jong, Acampo i Verdonk, 1995; Papageorgiu i Sakka, 2000).

2.2.3. Model konceptualne promjene

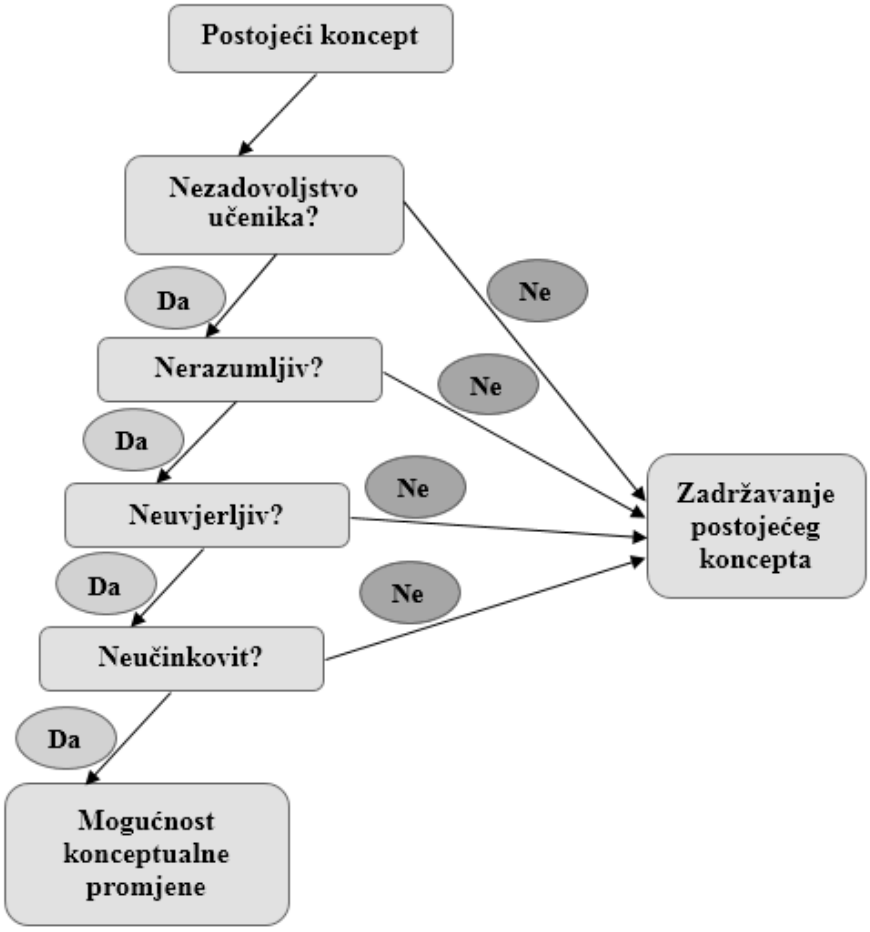
Nakon utvrđivanja pogrešnih shvaćanja, veoma je važno razviti učinkovite strategije njihovog uklanjanja. Pogrešna shvaćanja vrlo su otporna na promjenu unatoč nastojanju nastavnika da ih isprave. Na temelju rezultata provedenih obrazovnih istraživanja Posner i sur. (1985) predlažu *Model konceptualne promjene* prema kojem trebaju biti zadovoljena četiri uvjeta kako bi se dogodila konceptualna promjena i postojeći koncept koji nije u skladu sa znanstvenim spoznajama zamijenio novim konceptom (slika 2.8).

Uvjeti su sljedeći:

1. *Mora postojati **nezadovoljstvo** učenika s postojećim konceptom*. Proces izgradnje nove kognitivne strukture ili izmjene postojeće zahtijeva aktivno sudjelovanje učenika. Motivacija za ulaganje truda proizlazi iz nezadovoljstva postojećim konceptom koji ne može objasniti ili riješiti postojeći problem.
2. *Novi koncept mora biti **razumljiv.*** Novi koncept često je u suprotnosti i nije u skladu s postojećim koji pruža učeniku zadovoljavajuće obrazloženje. Novi koncept neće zamijeniti postojeće pogrešno shvaćanje sve dok učenik nije u stanju sagledati njegov smisao tj. dokaz

za njegovu valjanost. Učenik treba razumijeti novi koncept i biti sposoban iskazati njegov smisao vlastitim riječima.

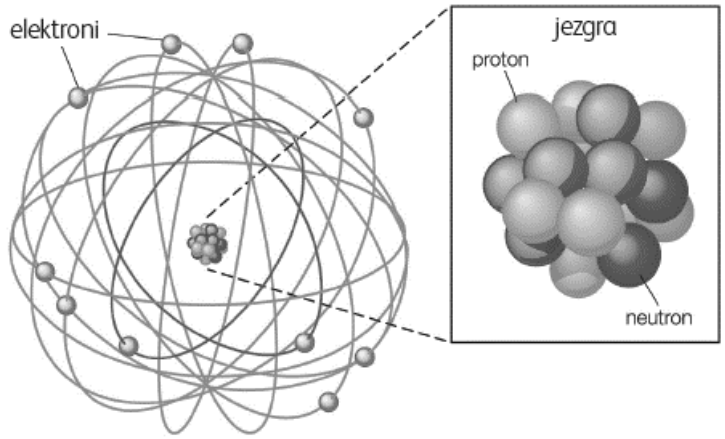
3. *Novi koncept mora biti* ***uvjerljiv.*** Ukoliko postojeći koncept ne može pojasniti neki problem, stvara se nezadovoljstvo koje će se otkloniti reorganizacijom postojećeg koncepta ili usvajanjem novog koji je uvjerljiv jer omogućuje znanstveno objašnjenje problema. Novi koncept će za učenika biti uvjerljiv ukoliko se on slaže s preostalim postojećim znanjem.
4. *Novi koncept mora biti* ***učinkovitiji*** *od starog*. Novi koncept ne samo da omogućuje rješavanje problema, već mora posjedovati i potencijal koji će mu omogućiti korištenje u različitim kontekstima.



Slika 2.8. Model konceptualne promjene (Posner i sur., 1985)

Model konceptualne promjene može se koristiti i u objašnjavanju otpornosti pogrešnih shvaćanja na promjenu. Primjerice, poučavanje Bohrova modela atoma vodi nastanku vrlo raširena pogrešna shvaćanja po kojoj atomi sadrže sitne, čvrste čestice elektrone koji kruže oko

jezgre kao planeti oko zvijezde. Nastanku navedenog pogrešnog shvaćanja pridonose prikazi Bohrova atoma u mnogim udžbenicima (slika 2.9).



Slika 2.9. Shematski prikaz atoma (Kovač-Andrić i sur., 2014)

Istraživanja potvrđuju da i nakon poučavanja naprednijeg kvantno-mehaničkog modela atoma na višim obrazovnim razinama, Bohrov model ostaje dominantna i čvrsta koncepcija. Razlog tome je što kvantno-mehaničkom modelu nedostaje uvjerljivost (Read, 2004). Većina učenika i studenata teško usklađuje ontološki i epistemološki realistično gledište s čestičnom i valnom prirodom elektrona.

2.3. Modeli u nastavi prirodoslovlja

Model je višeznačan i sveprisutan pojam. Iako ga koristimo u različitim kontekstima, općenito ga možemo definirati kao prikaz specifičnog *cilja* kao što je objekt, događaj, proces, ideja ili sustav.

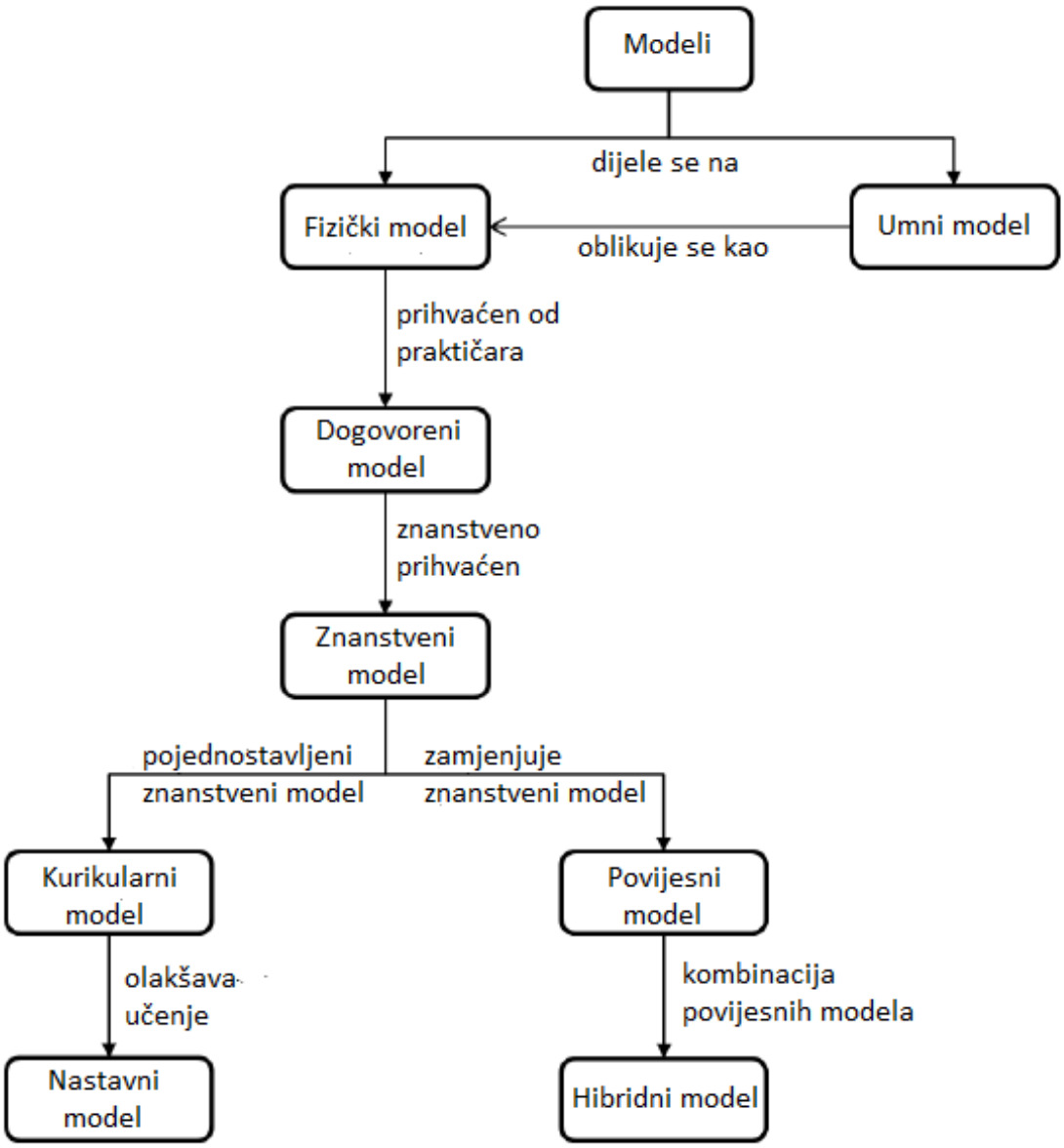
Poljak (1991) naglašava da prilikom izbora i uporabe modela uvijek treba na umu imati osnovni spoznajni zadatak (cilj) koji se želi odraditi s učenicima. Nastavnik mora voditi računa o razini kognitivnih sposobnosti učenika pri izboru vrste modela koji će koristiti u poučavanju. Primjerice, razumijevanje konkretnog modela učenicima je lakše od razumijevanja apstraktnog ili matematičkog modela. Modeli koji se koriste u znanstvenoj praksi, a time posredno i u nastavi, najčešće su kombinacija različitih vrsta modela. Podjela znanstvenih modela prema Gilbert i Osborne (1980) često se susreće u znanstvenoj literaturi i ona obuhvaća:

- razmjerne ili ikonički modele – slični originalu, jer sadrže odnose u istim omjerima kao i original (npr. zemljopisna karta, model molekule ili kristalne strukture),
- analogne modele – vjerno reproduciraju bitna svojstva originala na temelju analogije s već otprije objašnjenim sustavom ili fenomenom (npr. usporedba građe atoma sa Sunčevim sustavom),
- matematičke modele – prikazani matematičkim jednadžbama i različitim simbolima,
- teorijske modele – najčešće opisuju određene fizikalne i kemijske pojmove, procese i sustave. Tu pripadaju i modeli koji predstavljaju submikroskopsku strukturu nekog sustava (npr. modeli atoma i molekula, modeli submikroskopskog sastava homogenih i heterogenih smjesa, kinetički modeli plinova),
- arhetipske modele – čine ideje i pojmovi koji se uz pomoć analognih proširenja koriste u područjima na koja se direktno ne odnose. Važni su za nastavu jer opisuju povijesni nastanak znanstvenih modela u nastavi prirodoslovlja.

Gilbert i sur. (2000) smatraju da se u osnovi svi modeli dijele na fizičke i umne modele (slika 2.10). Umni modeli postoje u našem umu i predstavljaju kognitivnu konstrukciju pojedinca. Kada ih iskažemo djelovanjem, govorom, tekstom ili različitim vrstama simbola oni postaju fizički modeli (Gilbert i sur., 2000). Dogovoreni modeli prihvaćeni su od stručnjaka i praktičara. Znanstveni modeli su dogovoreni modeli koji se trenutno koriste u području znanosti. Pojednostavljena verzija takvog modela koja se koristi u poučavanju naziva se kurikulski model. Nastavni model koristi se u objašnjavanju *cilja* kako bi se olakšalo učenje. Znanstveni modeli koji su potisnuti novim spoznajama nazivaju se povijesni modeli. Hibridni modeli sadrže elemente i obilježja različitih povijesnih modela.

Budući nismo u mogućnosti vidjeti atome, molekule i ione, njihove veze i međudjelovanja, potrebno je u nastavi kemije koristiti modele kako bi objasnili uzroke opažanja na makroskopskoj razini (Call i Treagust, 2003; Dass i sur., 2015; Taber, 2009;). Prirodoznanstveni modeli imaju ključnu ulogu u opisivanju i objašnjavanju prirodnih pojava te praćenju razvoja povijesnih ideja poput strukture atoma, kemijske veze, termodinamike i sl. Potiču istraživanja, pomažu vizualizaciju fenomena i imaginativnu projekciju. Tijekom induktivnog procesa omogućuju razjašnjenje prirodnih pojava, a time i stvaranje teorija, dok u deduktivnoj shemi modeli omogućuju primjenu teorije putem predviđanja i razjašnjenja njezinih možebitnih nedostataka (Krsnik, 2005). Koristan su alat u poučavanju prirodnih znanosti, jer omogućavaju diskusiju, predviđanje, vizualizaciju apstraktnih koncepata i

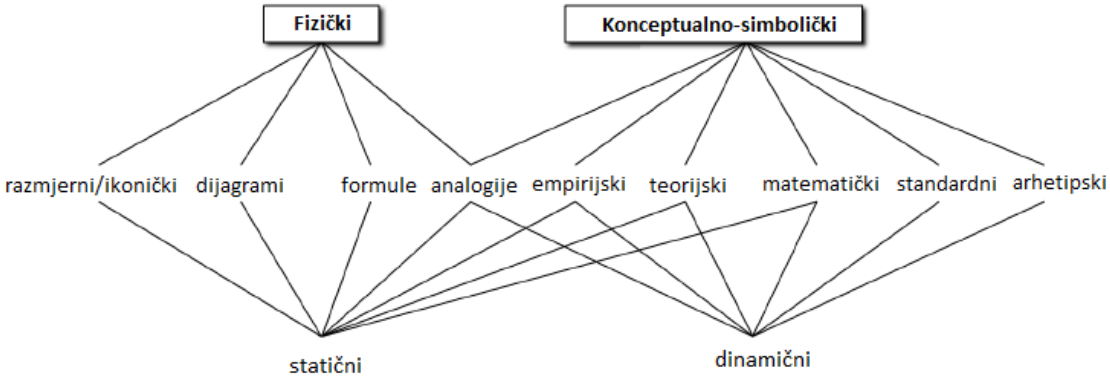
konstrukciju umnih modela. Modeli koji se koriste u poučavanju prirodnih znanosti najčešće omogućavaju vizualizaciju apstraktnih koncepata.



Slika 2.10. Vrste modela (Gilbert, Boulter i Elmer, 2000)

Prema Call (2006) glavni kriteriji za podjelu modela su razina prikaza (fizički i konceptualno-simbolički) i pokretljivost (statični i dinamički). Dijagrami, crteži i formule predstavljaju vanjsko obilježje *cilja* i smatraju se fizičkim modelima za razliku od konceptualno-simboličkih poput matematičkih i teorijskih modela koji predstavljaju implicitno ponašanje *cilja*. Obje vrste modela mogu biti statične i dinamične (slika 2.11). Primjerice

molekulska formula vode je statičan model za razliku od od valnih funkcija atomske strukture koja predstavlja dinamički teorijski model.



Slika 2.11. Podjela modela (Coll, 2006)

Najčešće se u poučavanju kemijskih sadržaja koristi više vrsta fizičkih modela kako bi se objasnio neki *cilj* (ono što se modelira). Primjerice, kemijska struktura molekule vode može se predočiti konkretnim modelom od polistirena koji prikazuje položaj atoma u molekuli ili Lewisovom strukturom koja prikazuje zajedničke valentne elektrone atoma vodika i kisika. Lajium (2013) fizičke modele dijeli na nekoliko vrsta (Tablica 2.1).

Tablica 2.1. Vrste fizičkih modela (Lajium, 2013)

Vrste	**Oblici**	**Primjeri**
Konkretni	Trodimenzionalni predmeti	Molekulski model od polistirena
Verbalni	Metafore ili analogije	Aktivacijska energija je poput brijega
Matematički	Matematički izraz	Opća plinska jednadžba
Vizualni	Dvodimenzijski grafički i slikovni prikazi	Crteži, grafovi, dijagrami, karte
Simbolički	Kombinacije slova, brojeva i grafikona koje uključuju verbalne, vizualne i matematičke izraze	Kemijski simboli, kemijske formule, jednadžba kemijske reakcije
Neverbalni	Radnja	Pokreti rukama

2.3.1. Uvjeti koje mora zadovoljiti dobar nastavni model

Chittelborough i Treagust (2007) smatraju da učenička sposobnost korištenja i tumačenja kemijskih modela utječe na razumijevanje kemijskih koncepata. Niz obrazovnih istraživanja potvrđuje da je učeničko razumijevanje modela ograničeno (Chittelborough i

Treagust, 2007; Drechsler i Schmidt, 2005; Ryan i Herrington, 2014), pa je pri kreiranju modela važno poznavati uvjete koje mora zadovoljiti dobar nastavni model.

Prirodoznanstveni modeli imaju važnu ulogu u razvoju i napretku prirodnih znanosti, jer omogućuju stvaranje „pojednostavljene slike“ neke prirodne pojave (Bastić, 2011). Modeli nisu idealan odraz stvarnosti već sredstvo koje se usmjerava na važne odrednice potrebne za objašnjavanje nekog svojstva *cilja* (Merritt, 2010). Stoga, svaki model istovremeno predstavlja idealizaciju i pojednostavljenje stvarnosti, a tijekom njegove izrade treba odlučiti koja svojstva treba naglasiti. Korištenjem modela kuglica i štapića učenik uočava valentne kutove u molekuli no istovremeno model zanemaruje stalno gibanje atoma i molekula. Metodički je pogrešno izraditi model s mnogo detalja.

Nemoguće je pomoću nekog crteža, animacije ili drugog modela točno prikazati kemijsku pojavu na čestičnoj razini. 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 prirodnu pojavu. Primjerice, pri poučavanju građe molekula može se koristiti kalotni model, simulacija i strukturna formula.

Krsnik (2005) prema (Gilbert i sur., 2000) smatra da pri odabiru modela treba voditi računa da je model:

- potpun (da učenici već posjeduju dovoljno poznatih informacija i poveznica između njih radi lakše daljnje izgradnje koncepata),
- konkretan (ono što model prezentira da bude unutar dosega razumijevanja učenika),
- koherentan (da razina tumačenja koju daje može zadovoljiti potrebe učenika),
- konceptualan (model mora činiti jasnu vezu između pripadajuće teorije i onog što objašnjava),
- korektan (ograničenja modela moraju biti jasno iskazana pri prezentaciji modela).

Osnovna zadaća modela koji se koriste u nastavi kemije je dati trodimenzijsku sliku građe molekule, kristalnog sustava, uređaja ili čak čitavog industrijskog postrojenja. Najčešće se primjenjuju modeli molekula i kristalnih struktura (Sikirica, 2003). Modeli molekula moraju zadovoljavati sljedeće uvjete:

- pojedini dijelovi modela (npr. različiti atomi) moraju biti međusobno razmjerni,
- valentni kutovi na modelima molekula moraju odgovarati valentnim kutovima u naravi,

- različiti modeli moraju biti različito obojeni (uobičajene su sljedeće boje atoma kemijskih elemenata: ugljik-crno, vodik-bijelo, kisik-crveno, dušik-plavo, halogeni-zeleno),
- model mora biti mehanički dovoljno čvrst kako se ne bi raspao pri uporabi.

Zaključno, iako modeli predstavljaju pojednostavljeni i idealizirani oblik objekta ili pojave, uobičajeno se koriste za objašnjavanje složenih hipoteza i teorija. Drugim riječima, modeli se koriste kao alat komunikacije koji omogućava širenje znanstvenih spoznaja. Podložni su stalnim modifikacijama i usavršavanjima kako bi se što više približili *cilju*.

2.3.2. Umni modeli

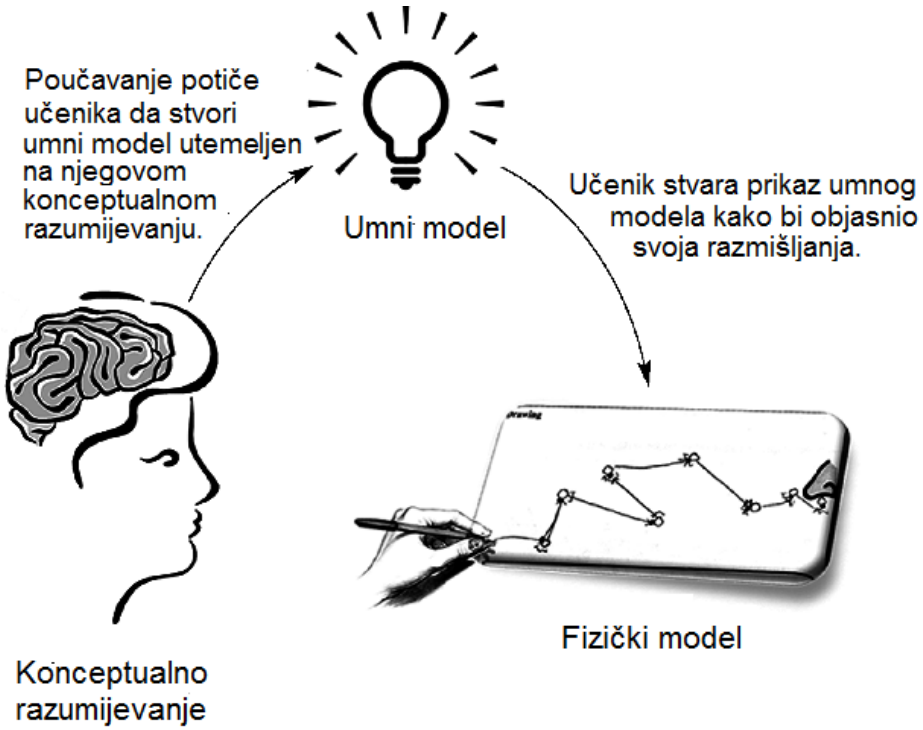
Primarni cilj poučavanja čestične razine je pomoći učenicima da formiraju umne modele koji su odraz znanstvenih teorija (Bridle i Yezierski, 2012).

Umni model je oblik umne slike koja predstavlja osobnu umnu konstrukciju (Johnson-Laird, 1983). Prema definiciji McClary i Talanquer (2011), umni model je strukturni, bihevioralni ili funkcionalni analog stvarnog ili zamišljenog objekta, procesa, događaja ili situacije. Znanstvenici koriste umne modele kako bi postavili hipotezu, objasnili makroskopske pojave i procijenili rezultate vlastitih znanstvenih istraživanja. Slično fizičkim modelima i umni modeli su pojednostavljeni, nepotpuni i približni prikazi *cilja*.

Umni modeli koji se odnose na fizičke objekte kao što su knjige, biljke, auti i računala nazivaju se *fizički* umni modeli. *Konceptualni* umni modeli su umni prikazi koncepata i apstraktnih modela, na primjer fizičke i kemijske promjene, kemijske veze, kemijske ravnoteže (Coll i Treagust, 2002).

Bodner i Domin (1998) naglašavaju važnost razlikovanja unutarnjeg prikaza koji je informacija pohranjena u umu i vanjskog prikaza koji je fizička manifestacija ove informacije. Pojedinci s vrlo različitim unutarnjim prikazima mogu iskazivati slične vanjske prikaze. Primjerice, nastavnik piše simbole koji prikazuju fizičku stvarnost, a učenici slova, brojeve i linije koji često za njih nemaju fizičkog značenja.

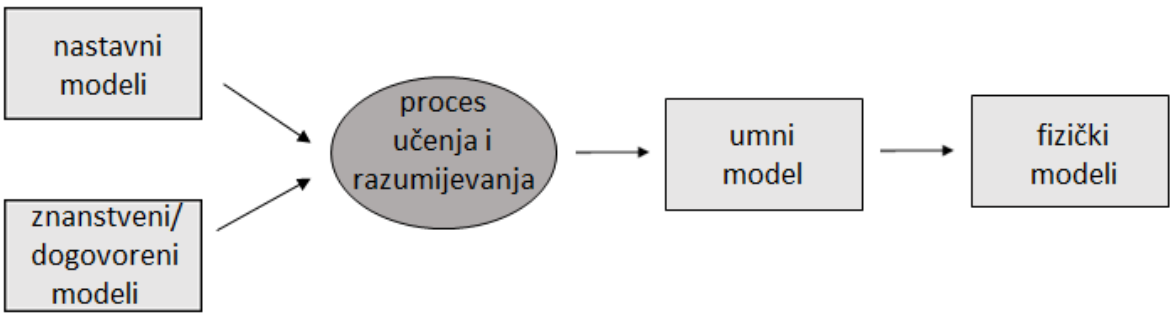
Proces učenja može se promatrati kao umno modeliranje, a umni modeli u tom su procesu proizvodi učenja (slika 2.12).



Slika 2.12. Prikaz odnosa konceptualnog razumijevanja, umnog modela i fizičkog modela (Staines i sur., 2011)

Učenici koriste umne modele kako bi opisali, objasnili, predvidjeli pojavu i/ili izradili fizičke modele u različitim oblicima (dijagrami, formule, simulacije), kako bi izmijenili ideje s drugima ili riješili probleme (Harrison i Treagust, 2000). Istovremeno, fizički modeli omogućavaju učeniku stvaranje umnog modela. Učenici mogu mijenjati model ili konstruirati novi ukoliko su nezadovoljni postojećim modelom jer ne podržava nove spoznaje.

Teorijski okvir koji predlažu Chittleborough i sur., (2005) prikazuje povezanost modela i procesa učenja i razumijevanja (slika 2.13).



Slika 2.13. Teorijski okvir formiranja umnog modela u procesu učenja i poučavanja (Chittleborough, Treagust, Mamiala i Mocerino, 2005)

Niz članaka iz novije obrazovne literature bavi se umnim modelima koji se odnose na različite koncepte i područja kemije: tvari (Adbo i Taber, 2009; Yayla i Eyceyurt, 2011), atomi i molekule (Harrison i Treagust, 2000; Stains i sur., 2011), kemijska veza (Coll, 2008; Coll i Treagust, 2002; Wang, 2007), kemijska reakcija (Garnett, Oliver i Hackling, 1998), kemijska ravnoteža (Briggs, 2006; Chiu, Chou i Liu, 2002), stehiometrija (Sunyono i sur., 2015), kiseline i baze (Lin i Chiu, 2010; McClary i Talanquer, 2010), organska kemija (Bodner i Briggs, 2005; Treagust i sur., 2005). Rezultati većine navedenih istraživanja utvrdili su da se umni modeli učenika ne podudaraju sa znanstvenim i nastavnim modelima. Njihovo formiranje je pod utjecajem svjetonazora, predznanja, iskustva i uvjerenja učenika pa nije neuobičajeno da sadrže različita pogrešna shvaćanja.

2.3.3. Modeliranje

Modeliranje se može shvatiti kao proces oblikovanja i izrade modela, a to uvijek uključuje i umne modele (Brodie i sur., 1994). Značenje modeliranja može se proširiti definicijom Justi i Gilberta (2002) koji modeliranje promatraju kao dinamičan i kontinuirani proces kreiranja, ispitivanja i komuniciranja ideja.

Modeliranje u znanosti i njenom poučavanju nije samo proces izrade modela već i iskustvo stvaranja, korištenja, evaluacije i usavršavanja znanstvenog modela. Modeliranje zahtijeva stvaranje veza između modela i stvarnosti koju model predstavlja. Navedena aktivnost ne obuhvaća samo testiranje modela već i procjenu njegovog slaganja s postojećom znanstvenom spoznajom (Chittleborough i Treagust, 2009). Ono omogućava učenicima usvajanje znanstvenih spoznaja i razvoj logičnog mišljenja.

Suckling i sur. (1978) smatraju da je modeliranje linearan proces koji uključuje:

(1) uočavanje problema i odluka da se on riješi pomoću modela,

(2) određivanje *cilja* koji se proučava,

(3) formulaciju pitanja,

(4) izradu modela,

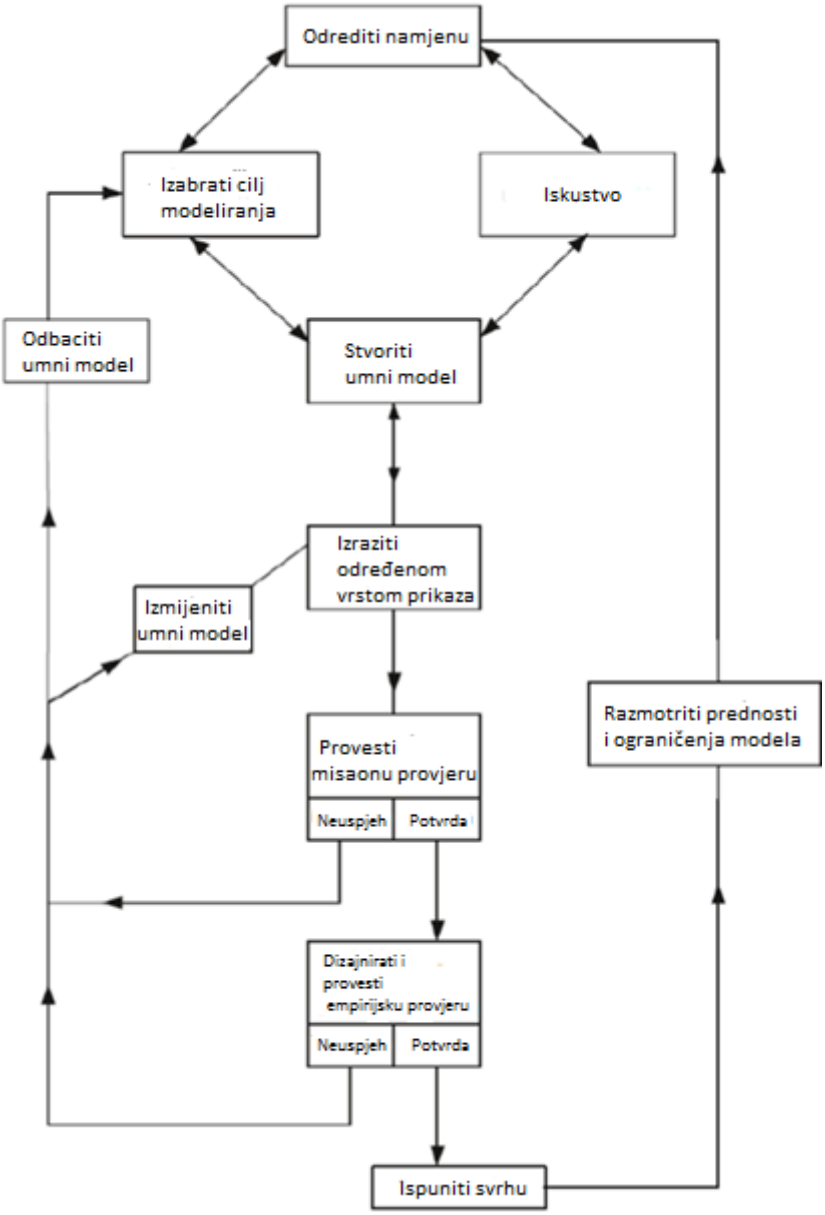
(5) preispitivanje modela,

(6) analizu rezultata.

Za razliku od navedenog modela, Justi i Gilbert (2002) razvili su *Model modeliranja* po kojem je modeliranje nelinearan proces u kojem umni modeli zauzimaju središnje mjesto u stvaranju modela. Takvo modeliranje uključuje sljedeće faze: određivanje namjene, izbor *cilja,* stvaranje umnog modela, prikazivanje modela, testiranje i usavršavanje umnog modela te

razmatranje prednosti i ograničenja modela (slika 2.14). Ovaj *Model modeliranja* predstavlja ciklus u kojem se modeli kontinuirano usavršavaju i koriste u stvaranju novih modela za određeni *cilj*.

Važna odrednica modeliranja je da ono predstavlja kontinuirani proces u kojem se *cilj* može prikazati različitim modelima proizašlim iz različitih ciklusa modeliranja. Iako je *Model modeliranja* koji su predložili Justi i Gilbert (2002) zbog svoje složenosti manje privlačan, istovremeno je razumljiviji i sveobuhvatniji od drugih pristupa. Njegova složenost proizlazi iz povezanosti modela nastalog u procesu modeliranja i umnog modela pojedinca.



Slika 2.14. Model modeliranja (Justi i Gilbert, 2002)

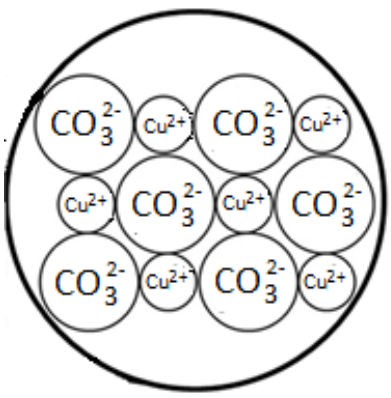
2.4. Čestični crtež

Konstrukcija učeničkog znanja je proces koji se često ne odvija na očekivani način iz čega proizlazi potreba razvijanja pogodnih modela za provjeru i analizu usvojenosti kemijskih koncepata, dijagnosticiranje pogrešnih shvaćanja te unapređenje kvalitete konceptualnog znanja. U ovom istraživanju u tu svrhu korišten je čestični crtež.

Čestični crteži su dvodimenzijski, statični modeli koji pomoću različitih simbola vizualiziraju čestičnu razinu. Davidowitz i sur. (2010) definiraju čestične crteže kao metodički oblikovane specifične kemijske prikaze koji se koriste kako bi se unaprijedilo poučavanje i razumijevanje, u svrhu razvoja kemijske epistemologije. Omogućavaju postavljanje hipoteze, prikazivanje kemijskih podataka, pružaju objašnjenje koje omogućava dedukciju i predikciju. Čestični crteži prikazuju jednu ili više molekula, atoma, iona i submikroskopskih čestica nacrtanih u boji ili crno-bijelo. Pružaju nam informacije o broju, vrsti, odnosu veličina i međusobnom djelovanju čestica.

Prema Chittleborough i Treagust (2008), učenici s ograničenim teorijskim znanjem kemije iskazuju poteškoće u razumijevanju crteža na čestičnoj razini. Ne snalaze se u prebacivanju jedne vrste prikaza u drugi, primjerice, animacije u čestični crtež. Mnogi nastavnici nisu svjesni da je učenike potrebno poučiti tumačenju i crtanju čestičnih crteža. Štoviše, u većini slučajeva i oni trebaju stručno usavršavanje kako bi koristeći čestične crteže pomogli učenicima da razviju konceptualno razumijevanje te sposobnost tumačenja i crtanja crteža (Adadan, 2014; Lee, 1999). Prillman (2014) smatra da nastavnik treba upoznati učenike s ograničenjima različitih čestičnih prikaza jer ih oni često poistovjećuju sa stvarnošću.

Čestični crtež kao i druge vrste modela naglašava samo neka svojstva *cilja*.



Slika 2.15. Čestični prikaz bakrova(II) sulfata (Prillman, 2014)

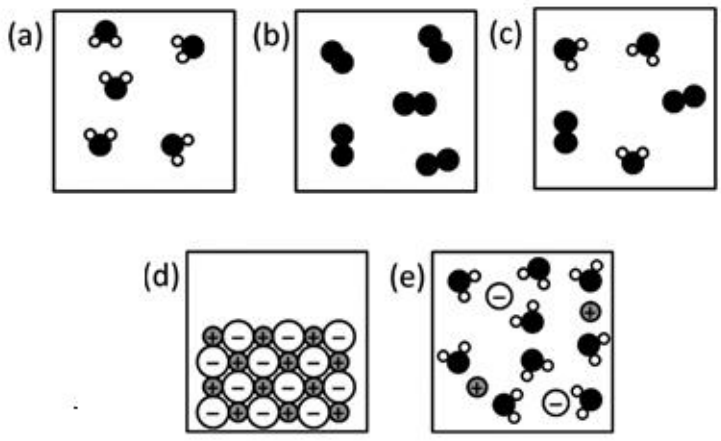
Primjerice, čestični prikaz bakrova(II) sulfata (slika 2.15) ističe naboj iona koji grade kristalnu strukturu bakrova(II) sulfata, ionska i kovalentna međudjelovanja, odnos veličina kationa i aniona te njihov omjer (1:1).

Čestični crtež ne naglašava sljedeća svojstva:

1. kristalna struktura je trodimenzionalna,
2. bakrov(II) sulfat je obično hidrat u kojem su molekule vode integrirane u kristalnu strukturu,
3. crtež implicira kubičnu kristalnu strukturu, a ne romboedarsku,
4. karbonatni ion je planaran, a ne sferičan kao na crtežu.

Zaključimo, crtež ne sadrži dovoljno detalja za napredno poučavanje no odgovara početnom poučavanju koje od učenika traži razumijevanje kemijskih veza u čvrstom agregacijskom stanju. Drugim riječima, crtež treba biti u suglasju s odgojno-obrazovnim ishodima i potrebama učenika (Prillman, 2014).

Kako bi se postiglo dublje konceptualno razumijevanje koje je preduvjet kvalitetnom učenju kemije na višim razinama formalnog obrazovanja, potrebno je koristiti različite vrste čestičnih crteža u svim područjima kemije (Prilliman, 2014). Čestični crtež se može uvesti u nastavu kemije prilikom poučavanja agregacijskih stanja tvari ili vrsta tvari. Slika 2.16 je primjer čestičnog crteža koji može poslužiti za uvođenje ovih koncepata na primjeru vode, kisika i natrijeva klorida.

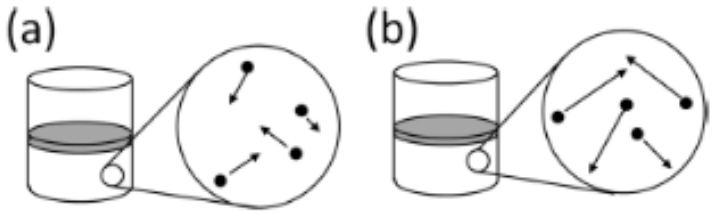


Slika 2.16. Čestični crtež nekoliko vrsta tvari i različitih agregacijskih stanja: (a) kemijski spoj (voda), plinovito agregacijsko stanje, (b) elementarna tvar (kisik), plinovito agregacijsko stanje, (c) homogena smjesa (voda i kisik), plinovito agregacijsko stanje, (d) kemijski spoj (natrijev klorid), čvrsto agregacijsko stanje, (e) homogena smjesa (vodena otopina natrijeva klorida), tekuće agregacijsko stanje (Prillman, 2014).

Ova vrsta crteža omogućava razlikovanje ionskih kemijskih spojeva poput natrijeva klorida i onih građenih od molekula poput vode. Atomi su predstavljeni krugovima i u nekim prikazima nije uključen sekundarni koncept kovalentne veze, ali se uvodi znanstveno prihvatljiv prostorni model molekule vode koji je dobar temelj za kasniju obradu VSEPR teorije i sprječava nastanak pogrešnog shvaćanja da su molekule vode sferičnog oblika.

Kako bi se pojednostavio prikaz vodenih otopina, molekule vode nisu često pojedinačno prikazane već ih predstavlja bijela boja unutar okvira čestičnog crteža. Na slikama 2.17 a-b bijela boja predstavlja vakuum no većina početnika smatra da je ovaj prostor zrak. Pri tumačenju crteža od učenika uvijek treba tražiti da bijelu boju unutar okvira označe kao prazan prostor (plinovi) ili molekule vode (vodene otopine).

Nedostatak čestičnog crteža je ograničena mogućnost prikazivanja gibanja čestica (slika 2.17).

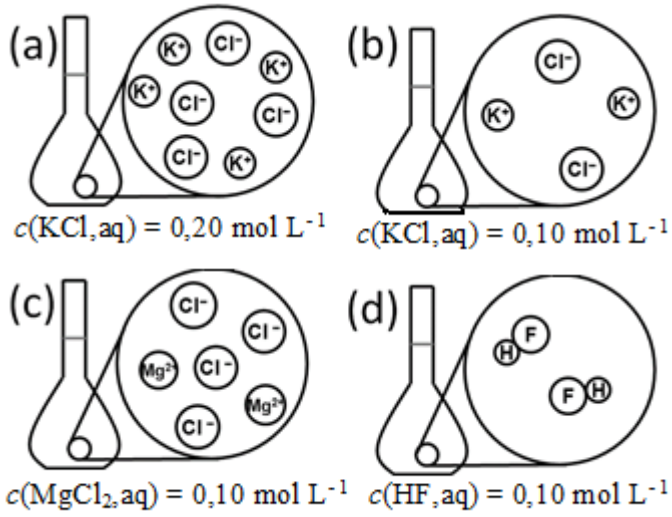


Slika 2.17. Čestični prikaz plinovitih čestica**:** (a) uzorak plinovitog helija u zatvorenom cilindru pri temperaturi 298 K; (b) plin nakon povišenja temperature, uz konstantan volumen i broj čestica. Napomenuti da bijela boja unutar okvira predstavlja prazan prostor (Prillman, 2014).

Slika 2.17 predstavlja atome helija pri različitim uvjetima tlaka i temperature. Strelice prikazuju smjer gibanja, a njihova duljina upućuje na relativnu brzinu čestice. Kako bi izbjegli pogrešno shvaćanje da se svaki objekt giba jer je pod utjecajem sile treba naglasiti da strelice ne predstavljaju sile koje djeluju na čestice. Najvažnije je uočiti sljedeće: o koncentraciji ovisi broj čestica pod povećalom, a temperatura utječe na brzinu čestica na što ukazuje duljina strelica. Primjerice promjena od 2.17a-b posljedica je porasta temperature pri konstantnom volumenu. Učenici moraju uočiti kako ova promjena ne utječe na koncentraciju, jer je broj čestica na oba crteža isti, a porast temperature se očituje duljim strelicama.

Povećalo na slici 2.18 ukazuje da su atomi i molekule vrlo male čestice i da se promatra samo mali dio uzorka što je važno u prikazivanju koncentracije uzorka, posebno plinova i otopina. Međutim, povećalo može navesti učenike na razmišljanje da je broj čestica u zatvorenom reakcijskom sustavu promjenjiv i da se mogu vidjeti pod mikroskopom.

Broj čestica na crtežu mora biti reprezentativan za određeni uzorak ukoliko želimo naglasiti zakon o očuvanju mase što je izuzetno važno kada želimo povezati čestične crteže sa stehiometrijskim zadatcima. Kao primjer može poslužiti slika 2.18 koja opisuje postupak razrjeđivanja.



Slika 2.18. Zadatak koji povezuje kemijski račun s konceptom razrjeđivanja vodenih otopina soli odnosno disocijacijom slabe kiseline. Nakon rješavanja stehiometrijskih zadataka povezanih s postupkom razrjeđivanja, učenici po uzoru na crtež (a) koji prikazuje vodenu otopinu KCl množinske koncentracije 0,20 mol L^{-1} trebaju nacrtati prikaze za otopine (b) i (c). U prikazu (d) očekuje se fizički prikaz mentalnog modela usvojenosti uzočno-posljedične veze jakosti kiseline i množinske koncentracije otopine . Učenike treba podsjetiti da bijela boja unutar okvira predstavlja molekule vode (Prillman, 2014).

U ovom primjeru učenici trebaju shvatiti da crtež koji prikazuje vodenu otopinu kalijeva klorida množinske koncentracije 0,20 mol L^{-1} sadrži četiri kalijeva i četiri kloridna iona, razrijeđena otopina KCl i otopina $MgCl_2$ sadrže dvostruko manje iona vodeći računa o omjeru iona. Broj molekula slabe fluorovodične kiseline koja disocira u vodenoj otopini je vrlo malen, pa nije vjerojatno da ćemo pronaći disociranu molekulu u uzorku od samo dvije molekule.

2.4.1. Čestični crtež u obrazovnim istraživanjima

Rezultati obrazovnih istraživanja o konceptualnom razumijevanju temeljnih kemijskih pojmova ukazuju na vrlo slične poteškoće učenika na svim obrazovnim razinama, unutar različitih obrazovnih sustava. Konceptualno razumijevanje postiže se procesima generalizacije i apstrakcije, a najčešće je rezultat primjene stečenih znanja i rješavanja problema (Mulford i

Robinson, 2002; Nurrenbern i Pickering, 1987; Pickering, 1990). Mnogobrojni čimbenici onemogućuju konceptualno razumijevanje, primjerice, apstraktna priroda kemijskih koncepata, poučavanje koje je najvećim dijelom fokusirano na algoritamsko usvajanje nastavnih sadržaja te njihova nepovezanost sa svakodnevnim životom (Nyachwaya, 2012). Većina provedenih obrazovnih istraživanja koja su koristila čestični crtež koriste ga pri istraživanju konceptualnog razumijevanja, analizi i evaluaciji postojeće situacije i pogrešnih shvaćanja učenika u različitim područjima kemije no samo mali broj za unapređenje znanja primjenom različitih didaktičkih strategija. Sudionici većine istraživanja bili su učenici srednjih škola i studenti, a vrlo rijetko učenici osnovne škole (Tablica 2.2).

Tablica 2.2. Pregled uporabe čestičnog crteža u obrazovnim istraživanjima

KEMIJSKI KONCEPT	AUTORI	SVRHA ISTRAŽIVANJA	SUDIONICI
građa tvari	Barke i sur., 2009	istraživanje učestalih pogrešnih shvaćanja	srednjoškolski učenici
	Onwu i Randall, 2006	analiza i evaluacija postojećeg stanja	srednjoškolski učenici
	Sanger, 2000	unapređenje znanja	studenti prvog semestra
	Stains i Talanquer, 2007	analiza i evaluacija postojećeg stanja	studenti prvog semestra
	Taber, 2002	istraživanje učestalih pogrešnih shvaćanja	srednjoškolski učenici
promjena agregacijskih stanja	Halakova i Prokša, 2007	provjera konceptualnog znanja	studenti prirodoslovnih znanosti koji pohađaju opću kemiju
kemija otopina*	Devetak i sur., 2009	analiza i evaluacija postojećeg stanja	učenici osnovne škole
	Kelly, Barrera i Mohaned, 2010	unapređenje znanja	studenti prve godine
	Nakhleh, 1993	analiza i evaluacija postojećeg stanja	srednjoškolski učenici
	Nakhleh, 1994	unapređenje znanja	srednjoškolski učenici

	Taber, 2002a	istraživanje učestalih pogrešnih shvaćanja	srednjoškolski učenici
	Warfa i sur., 2014	unapređenje znanja	studenti prvog semestra
kemijske i fizikalne promjene	Bridle i Yezierski, 2012	unapređenje znanja	srednjoškolski učenici
kemijske reakcije*	Al-Balushi i sur., 2012	istraživanje učestalih pogrešnih shvaćanja	učenici 12. razreda
	Cheng i Gilbert, 2014	unapređenje znanja	srednjoškolski učenici
	Davidowitz i sur., 2010	analiza i evaluacija nastavne strategije	studenti prve godine
	Kern i sur., 2010	analiza i evaluacija postojećeg stanja	srednjoškolski učenici
	Kelly i sur., 2010	unapređenje znanja	studenti prve godine
	Mulford i Robinson, 2002	razvoj i primjena zadataka višestrukog izbora	studenti prve godine
	Nurrenbern i Pickering, 1987	provjera konceptualnog znanja	studenti prvog semestra
	Nyachwaya i sur., 2014	unapređenje znanja	studenti prvog semestra
	Sanger, 2005	analiza i evaluacija postojećeg stanja	studenti prvog semestra
	Wood i Breyfogle, 2006	unapređenje znanja	srednjoškolski učenici
utjecaj promjene tlaka, volumena i temperature na plinove	Sanger i sur., 2013	provjera konceptualnog znanja	studenti prvog semestra

* kemijski koncepti koji su predmet istraživanja u ovom doktorskom radu

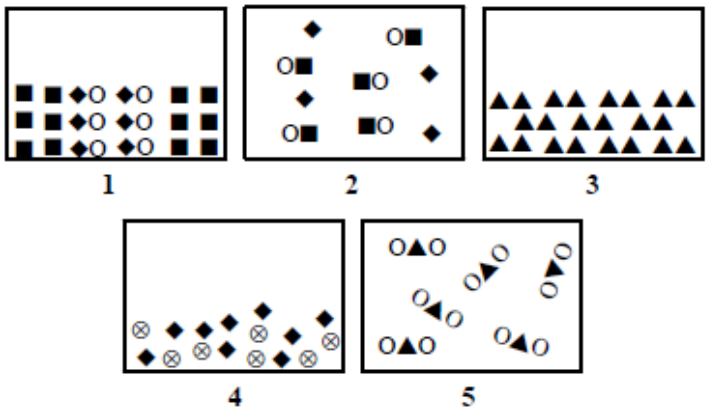
Čestični crteži opisani u obrazovnim istraživanjima (Tablica 2) često nisu usklađeni s prihvatljivim znanstvenim prikazima čestica i brojem čestica koje sudjeluju u kemijskoj reakciji. Unatoč tome, ograničenja i pojednostavljenje crteža koji se koriste u početnom poučavanju ne moraju biti temelj nastanka i razvitka pogrešnih shvaćanja.

Rezultati manjeg dijela obrazovnih istraživanja u kojima je korišten čestični crtež u različitim područjima kemije bit će opisan u nastavku.

1. Vrste tvari

Sanger (2000) je u svom istraživanju koristio pet čestičnih crteža (slika 2.19) kako bi analizirao i unaprijedio poučavanje pojmova agregacijsko stanje i vrste tvari (elementarne tvari, kemijski spojevi, homogene i heterogene smjese).

Crteži sadrže prikaze atoma i molekula. Odredi agregacijsko stanje i vrstu tvari za sve crteže (**1–5**).



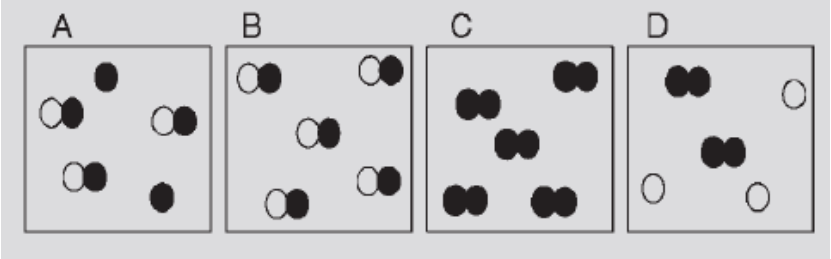
Slika 2.19. Određivanje agregacijskog stanja i vrste tvari uporabom čestičnog prikaza (Sanger, 2000)

Uspješne strategije kojima su studenti određivali vrstu tvari prikazanu na čestičom crtežu korištene su u poučavanju koje je rezultiralo točnijom interpretacijom crteža.

Koristeći Sangerove čestične crteže Toth i Kiss (2006) 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 koncepata opaženo je u osmom i desetom razredu u području anorganske i organske kemije.

Čestični crtež (slika 2.20) koristio se i kako bi se istražila jačina umne povezanosti između koncepata molekule i kemijskog spoja u studenata na različitim razinama sveučilišnog obrazovanja (Stains i Talanquer, 2007).

Sljedeći crteži prikazuju plinove. Atomi različitih kemijskih elemenata prikazani su simbolima ○ i ●.
Koji crtež prikazuje: a) smjesu dvaju kemijskih elemenata, b) jedan kemijski spoj, c) jedan kemijski element?

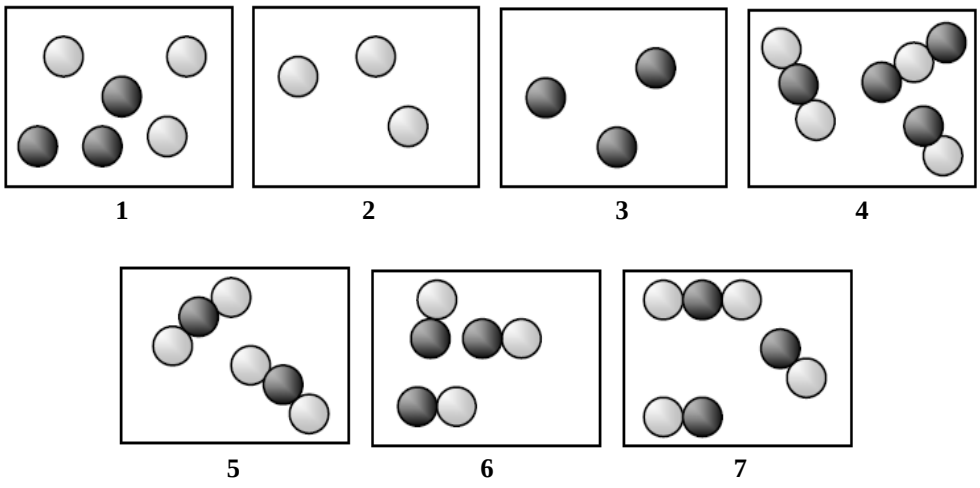


Slika 2.20. Određivanje vrste tvari uporabom čestičnog prikaza (Stains i Talanquer, 2007)

Znatan broj studenata viših godina svrstava molekule elementarnih tvari među kemijske spojeve. Vjerojatno je to pokazatelj snažne umne povezanosti koncepata 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 koncepata vremenom nije postajala slabija već je neočekivano rasla.

Rezultati Onwu i Randall (2006) potvrđuju da prikazivanje makroskopskih događaja čestičnim prikazima učenicima zadaje niz poteškoća koje uključuju široki spektar intuitivnih pogrešnih shvaćanja i ukazuju na činjenicu da učenici najteže savladavaju koncept čiste tvari (slika 2.21).

Atomi različitih kemijskih elemenata prikazani su simbolima ○ i ●. Koji crtež prikazuje: (1) jednu vrstu čiste tvari, (2) kemijski spoj, (3) smjesu kemijskih spojeva, (4) smjesu kemijskih elemenata i (5) smjesu tvari?

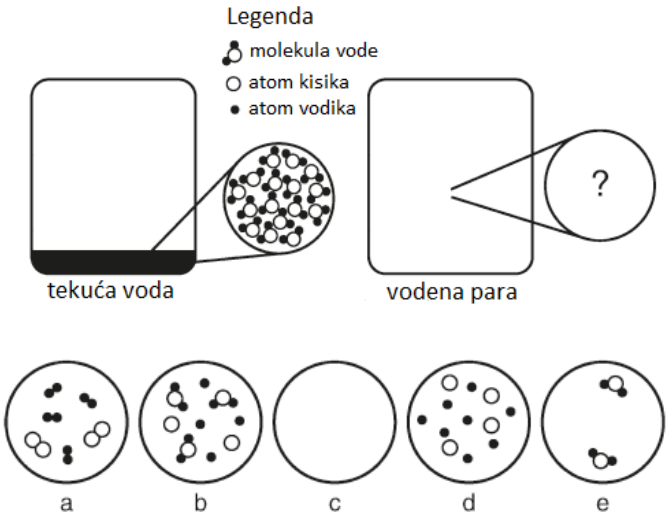


Slika 2.21. Određivanje vrsta tvari uporabom čestičnog prikaza (Onwu i Randall, 2006)

2. Fizikalna svojstva tvari

Kako bi utvrdili ovisi li razina konceptualnog znanja o vrsti postavljenih zadataka, Halakova i Prokša (2007) iste su konceptualne probleme predstavili verbalnim zadatcima i zadatcima prikazanim crtežima (slika 2.22).

Crtež prikazuje malu količinu vode u zatvorenoj posudi bez zraka. Koji od ponuđenih crteža **a-e** opisuje čestice vode nakon isparavanja?



Slika 2.22. Prikaz čestica tekuće vode i vodene pare (Halakova i Prokša, 2007)

Iako su studenti bili neznatno uspješniji u verbalnim zadatcima, ukupna razina uspješnosti može se smatrati niskom. Prilikom izbora točnog odgovora studenti često nisu birali logičan i razuman već onaj koji im se učinio mogućm, 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, Mulford i Robinson (2005) zaključuju da mnogi studenti opće kemije donose sa sobom niz pogrešnih shvaćanja iz prijašnjih razina obrazovanja. Nažalost, rezultati pokazuju da im sveučilišni program opće kemije omogućava skromno poboljšanje razumijevanja temeljnih kemijskih koncepata. Pogrešna shvaćanja uključuju neodgovarajuće ideje o atomima i molekulama, plinovima, kemijskim formulama itd.

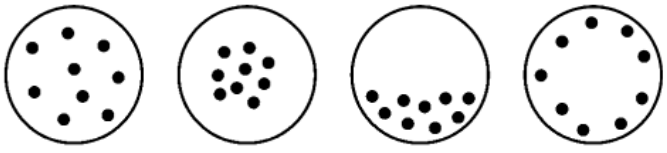
Može li laboratorijski rad učenika u kombinaciji s demonstracijskim pokusima značajno pomoći mijenjanju prethodno stečenih pogrešnih shvaćanja? Na temelju iskustva i intuitivnih ideja o prirodi plina učenici stvaraju snažna pogrešna shvaćanja. Primjerice, mišljenja su da je masa čvrstih tvari veća od mase plinova (Mayer, 2011). Nakon laboratorijskih vježbi i demonstacijskih 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 (slika 2.22) iako ni u ovom primjeru većina učenika nije odabrala točan prikaz (48 % od 63 učenika).

Podrazumijeva li sposobnost algoritamskog rješavanja problema razumijevanje koncepata vezanih za kemijski problem pitanje je na koje su Nurrenbern i Pickering (1987) pokušavali dati odgovor kroz više istraživanja. Rezultati njihovog istraživanja ukazuju da postoji pozitivna korelacija između rješavanja algoritamskih problema i razumijevanja kemijskih koncepata. Konceptualni zadatci koji propitkuju svojstva plinova i kemijski račun (stehiometriju) predstavljeni su čestičnim crtežom, a algoritamski zadatci su se rješavali na tradicionalni računski način (slika 2.23) .

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?



a b c d

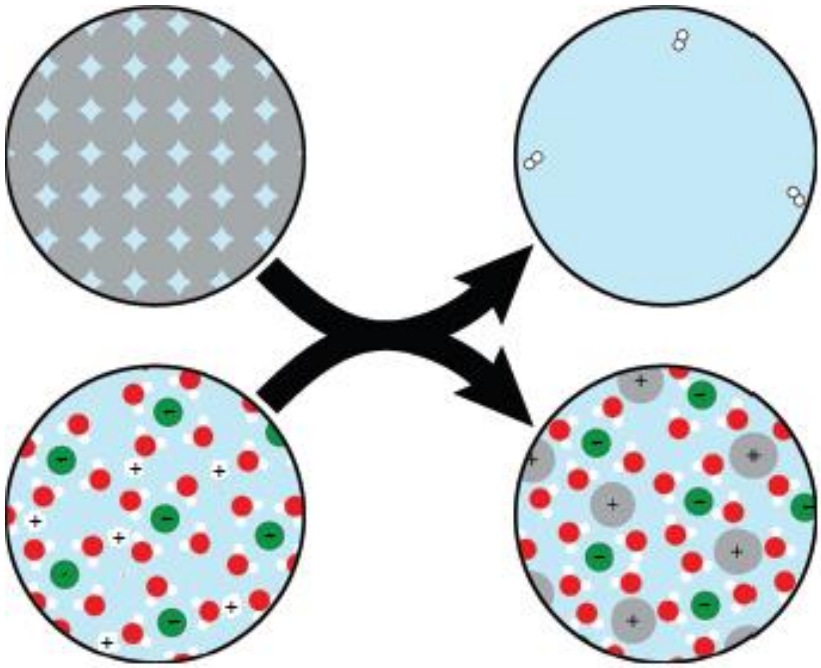
Slika 2.23. Raspodjela atoma helija u reakcijskoj posudi (Nurrenbern i Pickering, 1987)

Zaključeno je da mnogi studenti nisu sposobni primijeniti temeljne kemijske pojmove pri rješavanju konceptualnih problema. Koristeći isti čestični crtež u poučavanju studenata Sanger (2013) spoznaje da takav pristup doprinosi boljem rješavanju zadataka povezanih s raspodjelom čestica.

3. Fizikalne i kemijske promjene

Učenje otkrivanjem potpomognuto uporabom čestičnog crteža omogućava konceptualno razumijevanje i primjenu temeljnih pojmova, zaključak je istraživanja opisanog u radu Bridle i Yezierski (2012) u kojem je korišten čestični crtež prikazan na slici 2.24.

Prikazuje li crtež fizikalnu ili kemijsku promjenu?



Slika 2.24. Prikaz reakcije magnezija i kloridne kiseline (Bridle i Yezierski, 2012)

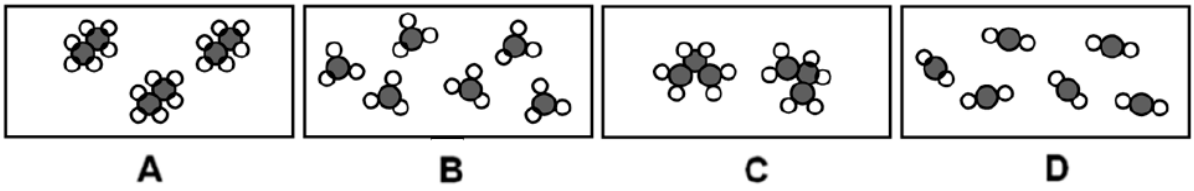
Studenti su na temelju čestičnog crteža, a bez znanja o kojim tvarima je riječ trebali zaključiti je li promjena kemijska ili fizikalna. Ovakav pristup pokazao se učinkovitijim od tradicionalnog. Učenici su uspješniji u rješavanju problema koji zahtijevaju čitanje submikroskopskih prikaza nego u samostalnom crtanju čestičnih crteža i translaciji submikroskopskog prikaza u simbolički (Bridle i Yezierski, 2012; Nyachwaya i sur., 2014; Yayla i Eyceyurt, 2011).

4. Građa tvari

Sistematična i kontinuirana dijagnoza pogrešnih shvaćanja treba se provoditi jer ponekad unatoč naporima da se situacija promjeni, rezultati istraživanja potvrde ne samo da nije došlo do konceptualne promjene već je određeno pogrešno shvaćanje prisutno kod još većeg broja ispitanika (Al-Balushi i sur., 2012).

Više od polovine omanskih srednjoškolaca ne prepoznaje prikaz molekula sumporova(VI) oksida (slika 2.25).

Koji crtež prikazuje molekule sumporova(VI) oksida?



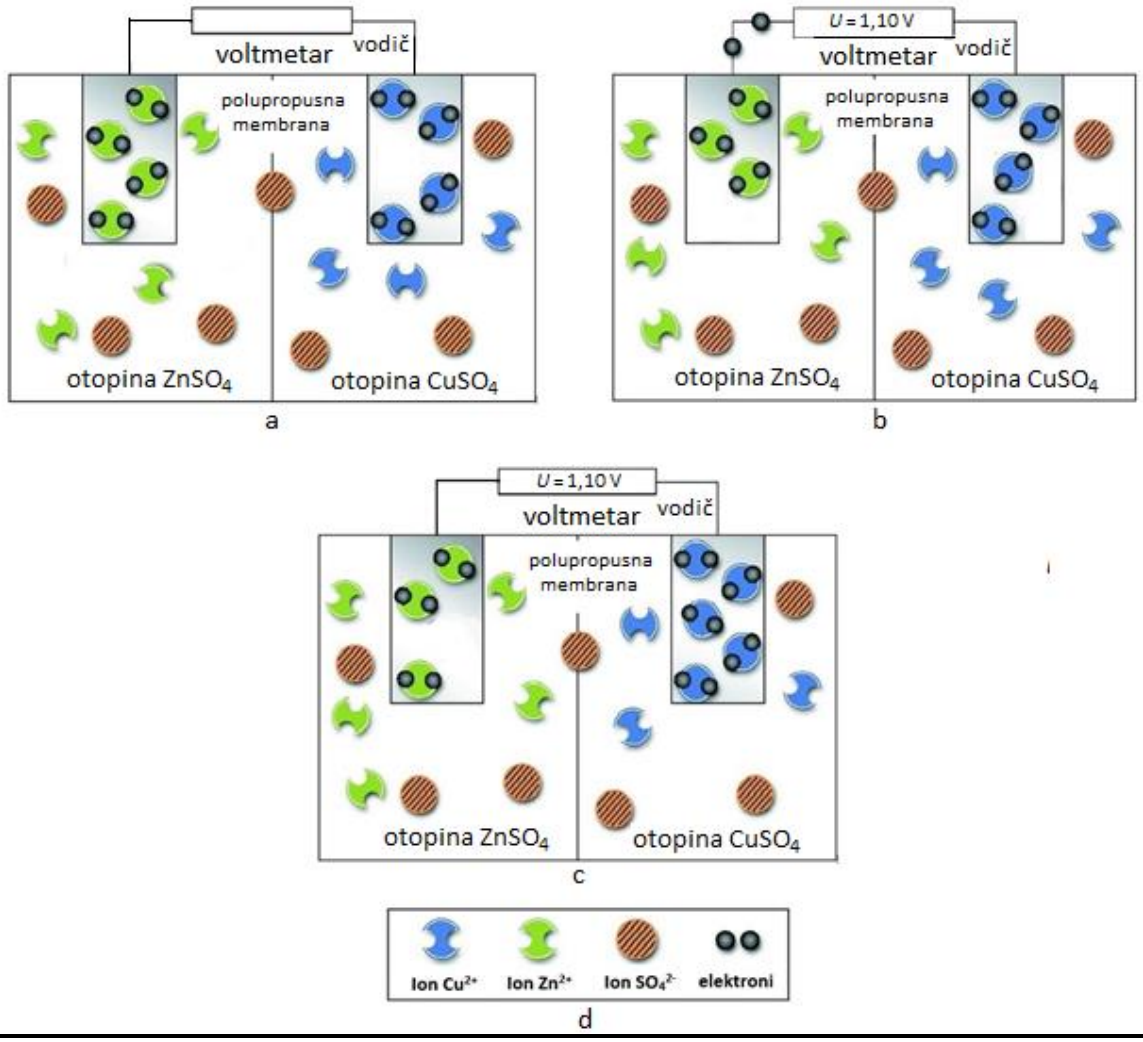
Slika 2.25. Prikaz molekula sumporova(VI) oksida i najučestalijih učeničkih pogrešnih shvaćanja o njima (Al-Balushi i sur., 2012)

Loši rezultati u zadatcima koji se temelje na submikroskopskom vizualnom prikazu mogu se tumačiti nedostatnom obradom ovih nastavnih sadržaja na submikroskopskoj razini.

5. Redoks-reakcije, elektrokemija

Redoks reakcije su važne za razumijevanje kemijskih sadržaja i niza promjena i postupaka koje susrećemo u životu: gorenje, hrđanje željeza, proizvodnja željeza, elektroliza aluminijeva oksida pri proizvodnji aluminija, proizvodnja električne energije u baterijama i itd.

Uporaba čestičnog crteža u ovom području je česta, izdvajamo samo jedan primjer. Cullen i Pentecost (2011) koriste čestični crtež u prikazu galvanskog članka kao predložak za izradu interaktivnog modela kako bi studenti ispravili pogrešna shvaćanja o gibanju nabijenih čestica u galvanskom članku (slika 2.26 a-d). Ukratko, makroskopsku razinu (učenički eksperiment koji uključuje mjerenje napona galvanskog članka i mase elektroda prije i nakon rada članka) povezuju s čestičnom razinom (uporaba modela) prije simboličkog opisa promjene. Na temelju modela studenti su predviđali do kojih će promjena na elektrodama doći uslijed rada galvanskog članka. Atomi iz kristalne strukture cinkove elektrode (anode) otpuštaju elektrone i prelaze u otopinu pa se koncentracija cinkovih iona povećava, a masa anode smanjuje u reakciji oksidacije. Elektroni (negativni naboji) vodičem putuju prema elektrodi od bakra gdje reduciraju bakrove(II) ione iz otopine uslijed čega se njihova koncentracija smanjuje. Bakrovi(II) ioni prelaze iz otopine u kristalnu strukturu katode povećavajući njenu masu. Kroz polupropusnu membranu omogućeno je gibanje iona kako bi se uspostavio strujni krug.

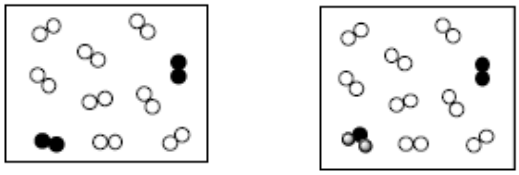


Slika 2.26. Prikaz rada galvanskog članka modelom koji uključuje čestični crtež: (a) prije zatvaranja strujnog kruga vodičem; (b i c) tijekom rada cinkova elektroda otpušta elektrone (negativne naboje) koji na bakrovoj elektrodi reduciraju bakrove(II) ione iz otopine, pri čemu raste koncentracija cinkovih iona a smanjuje se koncentracija bakrovih(II) iona; (d) legenda (Cullen i Pentecos, 2011)

6. Osnove kemijskog računa

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 (Bodner i Domin, 2000). Čini se razumnim da dodana vodena para može povećati masu uzorka zraka stalnog volumena, a time i gustoću.

Usporedi gustoću suhog zraka s gustoćom vlažnog zraka.



suhi zrak vlažan zrak

Slika 2.27. Prikaz suhog zraka i zraka zasićenog vodenom parom (Bodner i Domin, 2000)

No, mišljenje se mijenja nakon analize čestičnog crteža koji uzima u obzir Avogadrov zakon po kojem jednaki volumeni različitih plinova pri konstantnom tlaku i temperaturi sadrže jednak broj čestica (slika 2.27). 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 (engl. *Interactive Lecture Demonstration*, ILD) ukazuju na znatno poboljšanje u razumijevanju stehiometrijskih koncepata.

U nastavku ćemo analizirati rezultate istraživanja koja su razmatrala uporabu čestičnog crteža pri usvajanju i provjeri konceptualnog razumijevanja jednadžbe kemijske reakcije i vodenih otopina kiselina, baza i soli, područjima od iznimne važnosti za provedbu ovog istraživanja.

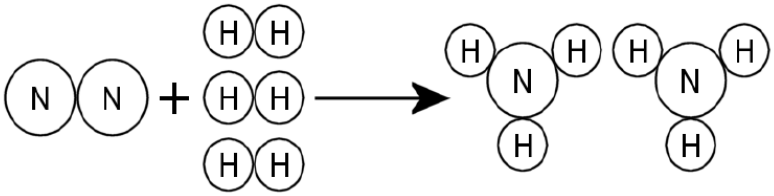
2.3.2. Uporaba čestičnog crteža pri usvajanju i provjeri konceptualnog razumijevanja jednadžbe kemijske reakcije

Jednadžba kemijske reakcije simbolički je način opisivanja kemijske reakcije i predstavlja složen koncept čije razumijevanje nije moguće ukoliko nije usvojen niz drugih koncepata. Kelly i sur. (2010) naglašavaju da jednadžba kemijske reakcije prikazuje događaje s makroskopske i submikroskopske razine te je korisna u kvalitativnom i kvantitativnom opisu kemijske promjene pri čemu sažima promjenu ne prikazujući reaktante i produkte na čestičnoj razini. Jednadžba kemijske reakcije ne prikazuje mehanizam reakcije, čestice „promatrače“ ni mjerodavni reaktant (Davidowitz i sur., 2010). Konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije postiže se uspostavljanjem veza između makroskopskih, submikroskopskih i simboličkih vrsta prikaza (Gabel, 1999; Georgiadou i Tsaparlis, 2000; Johnstone, 2000). Nažalost, tradicionalno poučavanje ovog koncepta polazi od učeničkog ili demonstracijskog

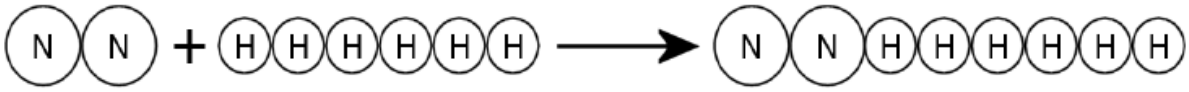
pokusa koji se potom objašnjava na simboličkoj razini, pa izostaje povezivanje ove dvije razine s čestičnom razinom. Temelji se na algoritamskom usvajanju sadržaja (učenik treba poznavati činjenice, zakonitosti i procese) prilikom čega izostaje konceptualno razumijevanje. Prema Talanquer (2012) algoritamski pristup obuhvaća memoriranje niza postupaka s ciljem rješavanja problema. Vježbom učenici usvoje obrasce i algoritme, rutinski točno riješe zadatke no istovremeno ne razumiju kemijske sadržaje na koje se oni odnose (Nurrenbern i Robinson, 1998). Konceptualni pristup od učenika zahtijeva smislenu primjenu temeljnih koncepata i ideja (Talanquer, 2012). Izjednačavanje jednadžbe kemijske reakcije za početnike je primjena niza pravila pri čemu se često ne uspostavlja veza između simboličkog prikaza reakcije i stvarnih kemijskih promjena (Laugier i Dumon, 2004). Početnicima u učenju može predstavljati konceptualni izazov no vježbanjem rješavanje postaje rutinsko (Nyachwaya i sur., 2011). Dio odgovornosti za postojeće stanje snose i nastavnici kemije, jer često smatraju da uspješno algoritamsko pisanje jednadžbe kemijske reakcije podrazumijeva usvojenost i razumijevanje koncepta razmatranog kemijskog procesa.

Rezultati niza istraživanja potvrđuju da učenici imaju poteškoće u razumijevanju koncepta jednadžbe kemijske reakcije. Poteškoće se očituju u nerazlikovanju indeksa i stehiometrijskog broja (Mulford i Robinson, 2002; Sanger, 2005; Yarroch, 1985), nerazlikovanju atoma i molekula (Wood i Breyfogle, 2006) i interpretaciji značenja simbola (Kelly i sur., 2010; Kern i sur., 2010; Wood i Breyfogle, 2006). Također, uočeno je da većina učenika koji algoritamski točno izjednačuju jednadžbu kemijske reakcije nisu sposobni predvidjeti produkte kemijske reakcije ili nacrtati točan čestični prikaz reakcije (Davidowitz i sur., 2010; Hinton i Nakhleh, 1999; Nyachwaya i sur., 2011).

Yarroch (1985) u svom istraživanju opisuje pogrešna shvaćanja koja nastaju u procesu poučavanja jednadžbe kemijske reakcije. Većina američkih studenata prve godine kemije točno algoritamski izjednačuje jednadžbu koja opisuje sintezu amonijaka, $N_2 + 3\ H_2 \rightarrow 2\ NH_3$, a više od polovine studenata umjesto točnog čestičnog prikaza (slika 2.28) pogrešno čestičnim crtežom prikazuje kemijsku promjenu. Jedan od najčešćih pogrešnih crteža prikazan je na slici 2.29.



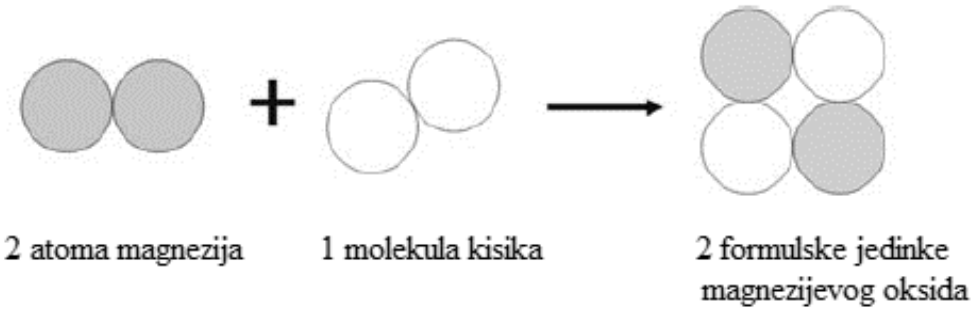
Slika 2.28. Točan prikaz sinteze amonijaka (Read, 2004; Yitbarek 2011)



Slika 2.29. Netočan prikaz sinteze amonijaka (Read, 2004; Yitbarek 2011)

Pogrešan prikaz u redu poredanih atoma dušika i vodika ukazuje na nerazlikovanje indeksa i stehiometrijskog broja te nerazumijevanje koncepta molekula. Navedene rezultate potvrđuju Hinton i Nakhleh (1999) naglašavajući da algoritamsko izjednačavanje jednadžbe kemijske reakcije ne podrazumijeva povezivanje značenja simbola koji se koriste u jednadžbi s čestičnim crtežom kemijske reakcije.

Cheng i Gilbert (2014) u svom radu naglašavaju prednosti višečestičnog prikaza u odnosu na jednočestični. Broj čestica u jednočestičnom prikazu predstavlja najmanji omjer čestica u kemijskoj reakciji za razliku od višečestičnog prikaza koji sadrži veći broj čestica u određenom omjeru. Submikroskopski prikazi kemijskih reakcija u većini udžbenika su jednočestični, nalaze se uz jednadžbu kemijske reakcije i zadaća im je da omoguće učenicima bolje razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije. Ben Zvi i sur., (1987) smatraju da neka od učeničkih nerazumijevanja kemijske reakcije proizlaze iz korištenja jednočestičnih prikaza u udžbenicima kemije. Takav primjer je i prikaz gorenja magnezija (slika 2.30).

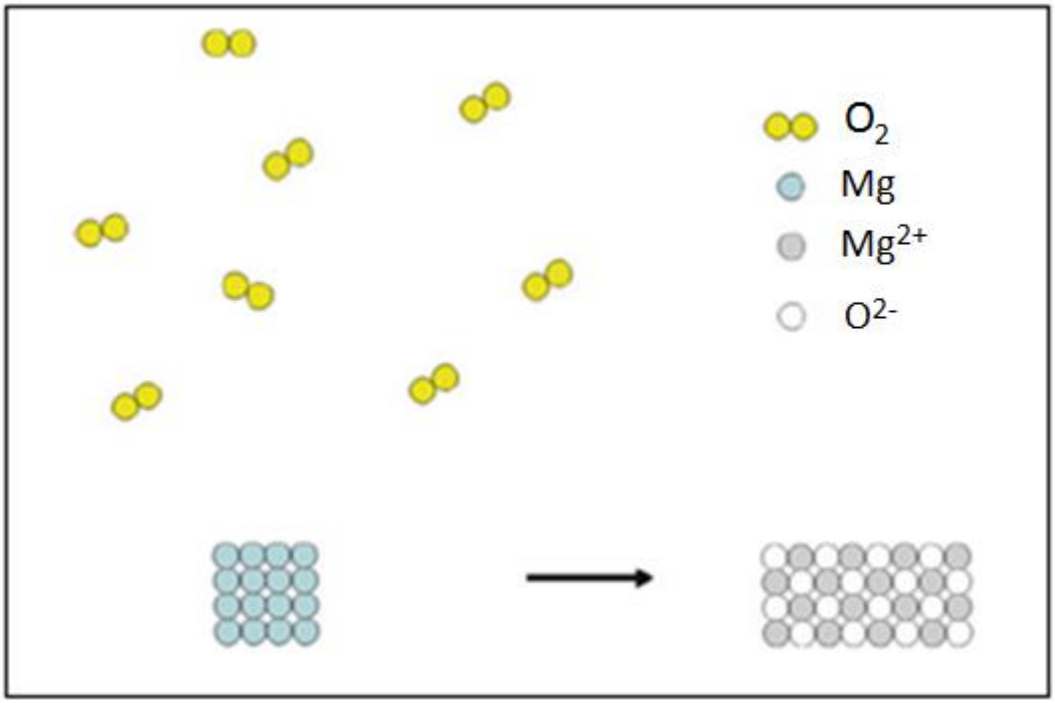


Slika 2.30. Jednočestični prikaz gorenja magnezija (Cheng i Gilbert, 2014)

Prikaz gorenja magnezija ne omogućava prebacivanje sa submikroskopskog prikaza na jednadžbu kemijske reakcije. Teško je iz crteža zaključiti da dva spojena kruga prikazuju 2 atoma magnezija (2 Mg), a ne molekulu magnezija (Mg_2). Štoviše, ova vrsta prikaza ne daje učenicima informaciju o agregacijskom stanju sudionika reakcije što je poveznica makroskopske razine i simboličkog prikaza jednadžbom kemijske reakcije. Jednočestični prikaz dovoljan je ukoliko želimo prikazati geometriju molekula i valentne kutove

atoma/skupina. Međutim, koncepte poput taljenja, isparavanja, disocijacije, agregacijskog stanja te kemijske ravnoteže nije moguće smisleno prikazati jednočestičnim prikazom.

Višečestični prikaz smislenije povezuje opaženu pojavu s jednadžbom kemijske reakcije. Poučavanje se treba usredotočiti na prebacivanje s broja čestica prikazanih na višečestičnom prikazu na broj čestica u jednadžbi kemijske reakcije $Mg + O_2 \rightarrow 2\ MgO$ (slika 2.31). U početnom poučavanju nije nužno naglašavati agregacijska stanja tvari u jednadžbi kemijske reakcije jer to može dodatno zbuniti učenike (Cheng i Gilbert, 2014).

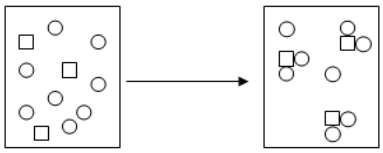


Slika 2.31. Višečestični prikaz gorenja magnezija (Cheng i Gilbert, 2014)

Poticaj za osmišljavanje istraživanja opisanog u ovom radu bio je u obrazovnim istraživanjima često korišten čestični crtež Nurrenberna i Pickeringa (1987). Zadatak od ispitanika traži da izaberu jednadžbu kemijske reakcije koja odgovara submikroskopskom prikazu kemijske reakcije (slika 2.32). Da bi ga ispravno riješili ispitanici trebaju razumjeti značenje pojmova stehiometrijski broj, indeks te elementarna (jedinična) kemijska promjena.

Rezultati su utvrdili da je 17,5 % studenata opće kemije izabralo točan odgovor C, a u istraživanju koje je proveo Sawrey (1990), 12 % studentskih odgovora je bilo točno. Isti zadatak koristio je i Sanger (2005) u analizi i provjeri konceptualnog znanja studenata opće kemije, a rezultat je bio 15 % točnih odgovora.

Reakcija atoma elementa X (□) i atoma elementa Y (O) 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 2.32. Konceptualni zadatak višestrukog izbora Nurrenbern i Pickering (1987)

Navedeni rezultati u skladu su s rezultatima istraživanja koje su proveli Mrvoš-Sermek i sur., (2009) na uzorku od 949 ispitanika (učenici osnovnih škola, brucoši Kemijskog i Biološkog odsjeka PMF-a u Zagrebu, studenti Metodike nastave kemije PMF-a u Zagrebu i nastavnici osnovnih i srednjih škola). Samo 13,3 % odgovora bilo je točno. Najveći broj ispitanika izabrao je odgovor D (83,7 %) koji poistovjećuje reakcijski sustav s jednadžbom kemijske reakcije.

Najčešća obrazloženja i pogrešna shvaćanja nastavnika i učenika/studenata prikazana su u Tablici 2.3.

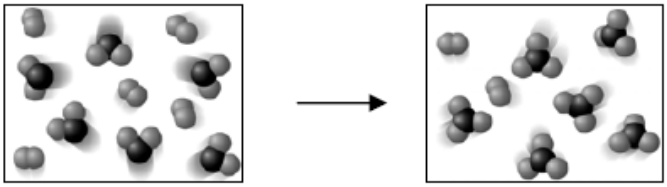
Tablica 2.3. Pogrešna shvaćanja i najčešća obrazloženja

Odgovor	Pogrešna shvaćanja	Obrazloženja
A	Nerazlikovanje jednadžbe kemijske reakcije od reakcijskog sustava i netočan prikaz molekula produkta	- 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 atoma elemenata X i Y u kemijskom spoju 1:2, a ne 3:8)
B	Nerazlikovanje jednadžbe kemijske reakcije od reakcijskog sustava i netočan prikaz molekula produkta	- 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
D	Nerazlikovanje jednadžbe kemijske reakcije od reakcijskog sustava	- 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	- 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

U istraživanju Davidowitz i sur. (2011) korišten je zadatak koji zahtijeva da se submikroskopski prikaz kemijske reakcije opiše jednadžbom kemijske reakcije (simbolička razina) koja omogućava rješavanje jednostavnog stehiometrijskog računa. Molekule su prikazane kalotnim modelom, a sjenčenjem se naglašava gibanje molekula (slika 2.33).
Kalotni modeli su trodimenzionalni grafički ili fizički modeli molekula u kojima su atomi predstavljeni kao nepotpune kugle spojene izravno jedna na drugu. Veličina atoma, njihovi položaji, te vezni kutovi među atomima odgovaraju njihovim odnosima u stvarnosti.

Slika prikazuje kemijsku reakciju tvari AB_2  i B_2  .



(a) Napiši pripadajuću jednadžbu kemijske reakcije.
(b) Navedi tvar koja je mjerodavni reaktant u kemijskoj reakciji.
(c) Izračunaj broj molova produkta ukoliko reagiraju 3 mola AB_2 i 5 molova B_2.
(d) Izračunaj koliki broj molova reaktanta u suvišku ostaje u reakcijskom sustavu opisanom u zadatku (c).

Slika 2.33. Konceptualni zadatak otvorenog tipa (Dawidovitz i sur., 2011)

Netočni simbolički prikazi jednadžbe kemijske reakcije najvećim dijelom su posljedica neprimjenjivanja omjera najmanjeg cijelog broja sudionika reakcije pa broj molekula reaktanata i produkata ne samo da odgovara čestičnom prikazu već je i reaktant u suvišku naveden kao produkt ($6\ AB_2 + 5\ B_2 \rightarrow 6\ AB_3 + 2\ B_2$) kako bi se zadovoljio zakon o očuvanju mase. Uočena je i netočnost simboličkog prikaza produkta (AB). Veliki broj studenata ne razumije koncept mjerodavnog reaktanta (AB_2). Iako ga prepoznaju, nisu sposobni točno riješiti stehiometrijski račun jer koriste omjere sudionika reakcije iz čestičnog prikaza.

Uporaba čestičnog crteža u aktivnom obliku razvija sposobnost tumačenja i crtanja prikaza pri rješavanju kemijskih problema. Također, čestični crtež koji učenik samostalno crta kako bi objasnio kemijsku reakciju na čestičnoj razini otkriva niz poteškoća u shvaćanju čestične građe tvari. Nychwaya i sur. (2011) u svom su istraživanju tražili od studenata da izjednače i prikažu čestičnim crtežom sljedeće jednadžbe kemijske reakcije, odnosno, da simboličku razinu upotpune čestičnim prikazom submikroskopske razine.

1) __ $CH_4(g)$ + __ $O_2(g)$ → __$CO_2(g)$ + __$H_2O(g)$
2) __ $AgNO_3(aq)$ + __ $CaCl_2(aq)$ → __ AgCl (s) + __$Ca(NO_3)_2(aq)$
3) __ HCl(aq) + __$CaCO_3(s)$ → __ $CaCl_2(aq)$ + __ $H_2O(l)$ + __$CO_2(g)$

Rezultati ukazuju na veliku razliku između sposobnosti studenata da izjednače jednadžbu kemijske reakcije i njenog prikazivanja čestičnim crtežom. Iako su gotovo svi ispitanici točno izjednačili jednadžbu kemijske reakcije, većina ima poteškoća u crtanju submikroskopskih prikaza i to ponajviše onih koji se odnose na jednadžbe kemijske reakcije koje sadrže ionske vrste. Poteškoće su prisutne u razlikovanju ionske i kovalentne veze, tumačenju indeksa i stehiometrijskog broja, razumijevanju višeatomskih iona, geometrije molekula, oksidacijskog broja i naboja iona te prikazivanju odnosa relativne veličine atoma i iona. Crtanje čestičnog crteža zahtijeva znanje i povezivanje niza temeljnih kemijskih koncepata. Budući da se oni uče zasebno, učenici vjerojatno ne uočavaju njihovu povezanost, a nastavnici se zbog opsežnog nastavnog plana i programa nemaju vremena tome dovoljno posvetiti.

2.4.3. Uporaba čestičnog crteža pri usvajanju i provjeri sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli

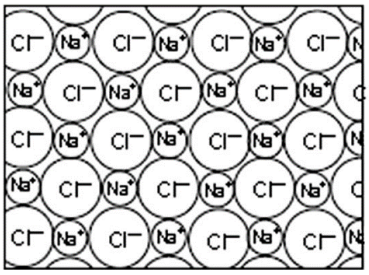
Koncept kiselosti vodenih otopina također je temeljni kemijski koncept koji zbog svoje apstraktnosti učenicima nerijetko predstavlja problem. Poučavanje sadržaja ovog koncepta treba započeti na makroskopskoj razini objašnjavanjem svojstava tvari, primjerice, kisela otopina mijenja plavu boju lakmus papira u crvenu, nastaviti na čestičnoj razini objašnjavanjem svojstava otopine čestičnim međudjelovanjem (Drechsler, 2007) i završiti simboličkom razinom (zapisom jednadžbe kemijske reakcije). U ovom području kemije uočen je veliki broj učeničkih pogrešnih shvaćanja na svim obrazovnim razinama koji u značajnoj mjeri sprječavaju ostvarivanje odgojno-obrazovnih ishoda. Zadaća nastavnika je da ih prepozna, zamjeni novim, znanstveno utemeljenim predodžbama i poduzme preventivne mjere koje

obuhvaćaju ponavljanje i intenziviranje sadržaja kako bi se predodžbe usidrile u postojećem znanju.

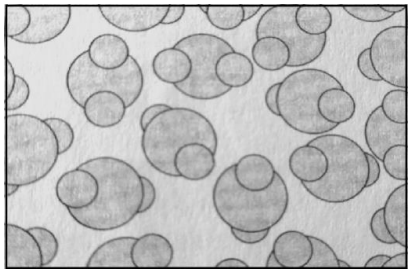
Pretraživanjem znanstvenih baza podataka pronađeno je tek nekoliko radova u kojima se čestični crtež koristi u otkrivanju pogrešnih shvaćanja te analizi i unapređenju konceptualnog razumijevanja vodenih otopina kiselina, baza i soli.

U populaciji učenika srednje škole Nakhleh (1994) uočava nerazumijevanje čestičnog modela tvari što rezultira nerazlikovanjem atoma, molekula i iona. Tijekom poučavanja u nekih učenika se dogodila konceptualna promjena no u većine su pogrešna shvaćanja vezana uz koncept kiselosti ostala nepromijenjena. Nažalost, niti jedan od ispitanika nije u cijelosti shvatio zadaću iona u kiselim i baznim otopinama. Nakhleh predlaže da se učenicima omogući crtanje i tumačenje vlastitih crteža za što je u nastavi potrebno osigurati dovoljno vremena.

Istraživanja koja je proveo Taber (2002 a,b) ukazuju da učenici srednjih škola pogrešno prikazuju ionske vrste prisutne u vodenoj otopini natrijeva klorida te kristalnu strukturu natrijeva klorida. Na temelju crteža natrijeva klorida u čvrstom agregacijskom stanju i crteža molekula vode u tekućem agregacijskom stanju učenici su trebali imenovati značajne kemijske vrste u sastavu vodene otopine natrijeva klorida (slika 2.34 i 2.35).



Slika 2.34. Prikaz kristalne strukture natrijeva klorida

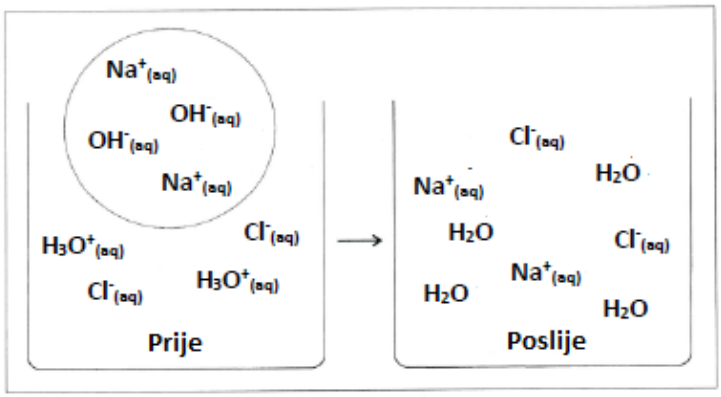


Slika 2.35. Prikaz molekula tekuće vode

Netočni odgovori (ioni natrijeva klorida, kisikovi ioni, atomi kisika, atomi natrija, atomi klora, molekule vodika) rezultat su nerazumijevanja čestične građe tvari i netočne primjene kemijskog nazivlja.

Mnoga pogrešna shvaćanja nastaju uslijed opisivanja makroskopskih pojava simboličkim zapisom pri čemu čestična razina nerijetko izostaje (Barke i sur., 2009; Naah i Sanger, 2012). Primjerice, ukoliko se reakcija neutralizacije objašnjava na temelju „molekulske jednadžbe“ $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$, učenici je pamte gotovo bez razumijevanja i uzrok je nastanka pogrešnih shvaćanja na čestičnoj razini (Gilbert, 2010). Kako

bi omogućili formiranje prihvatljivog umnog modela treba u procesu poučavanja koristiti ionske vrste (slika 2.36).

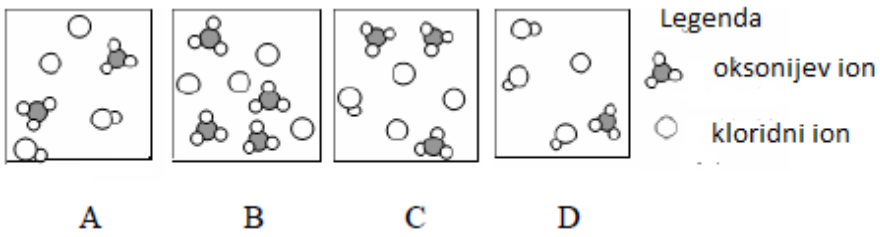


Slika 2.36. Umni model reakcije klorovodične kiseline i natrijeve lužine (Barke i sur., 2009)

Ukoliko se naglasi da Na^+ i Cl^- ioni predstavljaju ione „promatrače“ i ne sudjeluju u kemijskoj reakciji učenici lakše prihvaćaju točnu jednadžbu kemijske reakcije neutralizacije $OH^- + H_3O^+ \rightarrow 2\ H_2O$. Učenici većinom stvaraju umne modele Na-O-H i Na-Cl molekula ako se u poučavanje ne uključi čestična razina, a neutralizaciju poimaju kao proces „stvaranja soli“ (Barke i sur., 2009; Drechsler i Schmidt, 2005; Gilbert, 2008; Taber, 2001; Taber i Garcia-Franco, 2010; Warfa, 2013).

Devetak i sur. (2010) uočavaju niz pogrešnih shvaćanja vezanih uz prikaz čestica u kiselim, baznim i neutralnim vodenim otopinama. U zadatku prikazanom na slici 2.36 učenici osnovne škole su trebali prepoznati klorovodičnu kiselinu, jaku kiselinu čije molekule u potpunosti disociraju u vodi (crtež B). Većina učenika izabrala je točan crtež znajući da molekula klorovodične kiseline disocira na kloridni i oksonijev ion u omjeru 1:1.
Neznatno manji broj učenika bira netočan crtež D koji prikazuje disociranu slabu kiselinu.

Koji crtež prikazuje vodenu otopinu klorovodične kiseline? Molekule vode nisu prikazane.

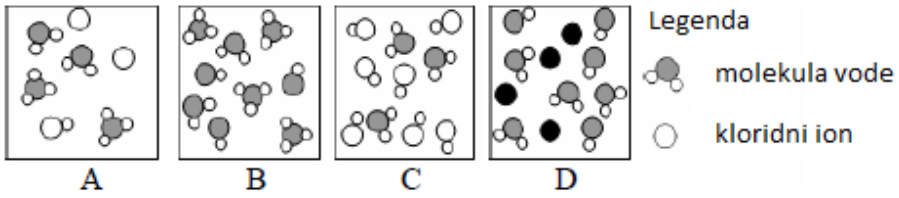


Obrazloži svoj izbor.

Slika 2.37. Konceptualni zadatak višestrukog izbora-vodena otopina klorovodične kiseline (Devetak i sur., 2009)

Učenicima je zahtjevniji zadatak u kojemu trebaju prepoznati prikaz vodene otopine baze (slika 2.38). Manje od četvrtine učenika povezuje hidroksidni ion s bazičnim svojstvima vodene otopine na točnom crtežu D.

Koji crtež prikazuje vodenu otopinu baze?



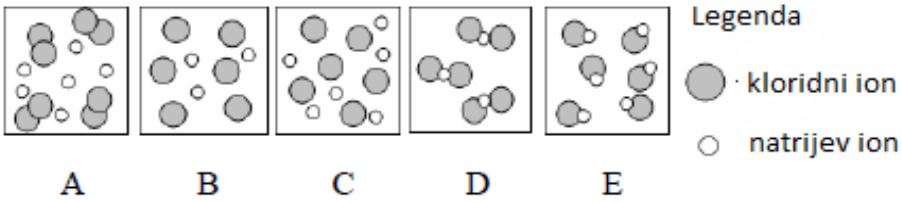
Obrazloži svoj izbor.

Slika 2.38. Konceptualni zadatak višestrukog izbora-vodena otopina baze (Devetak i sur., 2009)

Dvostruko veći broj učenika bira netočan crtež B koji predstavlja kiselu otopinu na kojoj je broj oksonijevih iona veći od broja hidroksidnih iona.

Sljedeći zadatak (slika 2.39) ispituje koncept topljivosti soli u vodi. Točan crtež C prikazuje vodenu otopinu natrijeva klorida, soli koja dobro disocira u vodi. Vodena otopina sadrži natrijeve i kloridne ione.

Koji crtež prikazuje vodenu otopinu natrijeva klorida? Molekule vode nisu prikazane.



Obrazloži svoj izbor.

Slika 2.39. Konceptualni zadatak višestrukog izbora-vodena otopina natrijeva klorida (Devetak i sur., 2009)

Četvrtina učenika izabrala je točan crtež, no gotovo dvostruko više ih se odlučuje za netočan crtež E koji prikazuje slabo topljivu sol u vodi.

Velika većina učenika u navedenim zadatcima nije ponudila nikakvo obrazloženje što upućuje na poteškoće u korištenju kemijske terminologije.

2.5. Provjera konceptualnog razumijevanja

U novije vrijeme znanstvenici sve više pozornosti posvećuju razvitku dijagnostičkih instrumenata koji će provjeriti konceptualno razumijevanja ispitanika (Christian i Yezierski, 2012; Cohen i sur., 2007; Cloonan i Hutchinson, 2011; Igaz i Prokša, 2012; Levi-Nahum i sur., 2004; Liu, 2007; Nyachwaya i sur, 2011; Ozalp i Kahveci, 2015). Dijagnostički instrument čiji je cilj provjera konceptualnog razumijevanja sadrži konceptualne zadatke koji učenike potiču na razumijevanje i primjenu kemijskih sadržaja čime se olakšava usustavljivanje znanja i postiže pozitivna retencija znanja (Nurrenbern i Robinson, 1998). Konceptualni zadatci koji se koriste u provjeri konceptualnog razumijevanja obuhvaćaju (Bastić, 2011 prema What Are Conceptual Questions?, 2008):

- translaciju informacija s riječi u simbole i sa simbola u riječi,
- interpretaciju informacija na način da se one odaberu u odgovarajućem redoslijedu ili da se odrede veze između pojedinih dijelova,
- primjenu principa na novi problem ili situaciju koja sadrži nove ili dotad nepoznate podatke,
- analizu informacija potrebnih za donošenje određenih zakonitosti ili zaključaka,
- sintezu logičkih hipoteza, eksperimenata ili modela na temelju prikupljenih informacija,
- evaluaciju novih informacija, eksperimenata ili modela.

Konceptualni zadatci predstavljaju alat koji pomaže učenicima da steknu sveobuhvatniji uvid u kemijski problem i unaprijede konceptualno razumijevanje i sposobnost primjene naučenog u novim situacijama, potiče kritičko mišljenje i povećava interes za prirodne znanosti i učenje (Halakova i Prokša, 2007).

Kako izabrati istraživačku metodu koja će primjenom konceptualnih zadataka pružiti podatke o razini konceptualnog razumijevanja učenika?

Intervju u odnosu na test pruža preciznije i sveobuhvatnije informacije o konceptualnom razumijevanju. Nažalost, njegova provedba zahtijeva mnogo vremena kojeg je teško pronaći u nastavi, stoga su u ovom radu kombinirani rezultati polustrukturiranog intervjua provedenog na uzorku od 10 učenika i rezultati testova kojima je pristupio 581 učenik.

Tradicionalni kemijski testovi uglavnom su fokusirani na simboličke prikaze, provjeravaju činjenično znanje i primjenu algoritama u rješavanju kemijskih problema. Isprva su se u analizi sposobnosti korištenja višestrukih razina prikaza koristili tradicionalni zadatci višestrukog izbora sastavljeni od pitanja ili tvrdnje i najčešće četiri ili pet ponuđenih odgovora

među kojima učenik treba izabrati točno rješenje. Kako bi umanjio ograničenja tradicionalnih zadataka višestukog izbora, Tamir (1971) predlaže unapređenje metodologije tako što izboru točnog odgovora dodaje i otvoreni dio zadatka u kojem se od ispitanika traži obrazloženje odgovora. Rezultati novijih istraživanja (Chandrasegaran i sur., 2007; Davidowitz i sur., 2010; Devetak i sur., 2009; Nyachwaya i sur., 2011; Treagust, 2006; Wang, 2004) potvrđuju da otvoreni dio zadatka u većoj mjeri otklanja ograničenja tradicionalnih zadataka višestrukog izbora. Usporedba prednosti i nedostataka tradicionalnih i dvodijelnih zadataka višestukog izbora prikazana je u Tablici 2.4.

Tablica 2.4. Usporedba tradicionalnih i dvodijelnih zadataka višestrukog izbora

	PREDNOSTI	NEDOSTATCI
Tradicionalni zadatci višestrukog izbora	- moguće je ispitati različite kognitivne razine znanja (poznavanje činjenica, razumijevanje principa, primjena znanja) - mogućnost pogađanja točnog odgovora je značajno smanjena u odnosu na zadatke alternativnog izbora - jednostavno, precizno i objektivno ispravljanje - vremenski ekonomično ispravljanje - brza i jednostavna statistička obrada težine pojedinih pitanja i diskriminacijske sposobnosti pitanja	- ne daju dovoljno širok uvid u konceptualno razumijevanje kemijskih pojmova - pisanje kvalitetnih pitanja je složeno i vremenski zahtjevno - često se ne mjeri stvarno znanje, jer se do točnog odgovora može doći metodom isključivanja netočnih opcija - određeni postotak odgovora se može slučajno pogoditi
Dvodijelni zadatci višestrukog izbora	- ne usmjerava učenika na određeni odgovor - sprječava nasumični izbor - omogućava nastavnicima i istraživačima da analiziraju učeničko razumijevanje koncepata	- zahtijeva dobru pismenost ispitanika - otežana obrada podataka - smanjena mogućnost usporedbe ispitanika koji su često slabo motivirani na odgovaranje

Na temelju rezultata ostvarenih u tradicionalnim i dvodijelnim zadatcima višestrukog izbora moguće je utvrditi da li učenici posjeduju neka pogrešna shvaćanja i jesu li postigli

konceptualno razumijevanje određenih koncepata. Naime, prema Gilbert (1977) postotak točnih odgovora u zadatcima s četiri odgovora tumači se na sljedeći način:

75 % i više	zadovoljavajuće konceptualno razumijevanje sadržaja,
50–74 %	približno dovoljan učinak,
25–49 %	nedovoljan učinak u velikoj mjeri,
<25 %	nedovoljan učinak.

Pri konstrukciji zadataka višestrukog izbora naročito je potrebno voditi računa o izboru distraktora. Distraktori moraju biti smisleni, funkcionalni i učenicima prihvatljivi. Poznato je da se povećanjem broja distraktora smanjuje mogućnost pogađanja točnog odgovora. Međutim, utvrđeno je da povećanje opcija (s 3 na 4 ili s 3 na 5) ne utječe značajno na težinu zadatka, diskriminativnost i pouzdanost, jer veći broj distraktora istovremeno podrazumijeva i uključivanje nefunkcionalnih distraktora (Tarrant i sur., 2009). Nadalje, na temelju postotka biranja distraktora moguće je utvrditi postojanje pogrešnih shvaćanja kod učenika. Tako frekvencija biranja nekog distraktora veća od 20 % može služiti kao pouzdan pokazatelj postojanja pogrešnih shvaćanja u ispitivanoj grupi učenika (Dhindsa i Treagust, 2009; Gilbert, 1997). Ovakav način analize pogrešnih shvaćanja korišten je i u ovom radu.

Ograničenja zadataka višestrukog izbora ponukala su Davidowitz i sur. (2010) da predlože zadatak otvorenog tipa koji bi ispitao sposobnost prikazivanja kemijske reakcije na submikroskopskoj razini pomoću čestičnog crteža. Od učenika se traži da tumače i crtaju produkte kemijske reakcije na temelju simbola reaktanata prikazanih crtežom. Nasuprot tome, Kern i sur., (2010) predlažu zadatak otvorenog tipa u kojem ispitanici crtaju reaktante i produkte kemijske reakcije bez unaprijed određenih simbola. Ovaj pristup temelji se na već opisanom istraživanju Yarrocha (1985) u kojem su studenti čestičnim crtežom prikazivali jednadžbu koja opisuje sintezu amonijaka.

Kako bi se istražilo konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije i vodenih otopina kiselina, baza i soli, u ovom radu su korišteni čestični crteži u dvodijelnim zadatcima višestrukog izbora i zadatcima otvorenog tipa. U prvom dijelu dvodijelnih zadatka višestrukog izbora provjeravala se sposobnost povezivanja opisa promatrane kemijske promjene jednadžbom kemijske reakcije (najčešći simbolički zapis) i uporabom čestičnog crteža (vizualizacijom submikroskopske razine). Ponuđena su četiri crteža od kojih je jedan točan, a preostali su distraktori koji se temelje na pogrešnim shvaćanjima prethodno opisanim u obrazovnoj literaturi. U drugom dijelu zadatka učenici su obrazlagali svoj odgovor. U

zadatcima otvorenog tipa od učenika se tražilo crtanje čestica produkata ili svih sudionika kemijske reakcije na temelju opisa jedinične promjene jednadžbom kemijske reakcije.

2.6. Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja ove radnje su nastavni sadržaji kemije u osnovnoj školi o jednadžbi kemijske reakcije i vodenim otopinama kiselina, baza i soli. Učenici kemiju doživljavaju teškim i apstraktnim nastavnim predmetom između ostalog i zbog poteškoća u povezivanju makroskopskog svijeta opažanja i submikroskopskog svijeta čestica. Povezivanje i objedinjavanje makroskopske, submikroskopske i simboličke razine za učitelje je izazovna zadaća. Problem istraživanja proizlazi iz potrebe odabira odgovarajućih primjera, modela i drugih nastavnih sredstava te implementacije nastavnih metoda i strategija kako bi se ostvarili zadani ciljevi učenja kemije o konceptu jednadžbe kemijske reakcije i sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli u primarnom obrazovanju. Prema našem saznanju, u literaturi ne postoje istraživanja koja pružaju informacije o učinkovitosti poučavanja kemijskih nastavnih sadržaja uz primjenu čestičnog crteža u početnom poučavanju.

Cilj istraživanja je utvrditi kako primjena čestičnog crteža tijekom poučavanja sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli, utječe na kvalitetu temeljnih znanja učenika osmih razreda osnovne škole. Nadalje, želimo utvrditi razliku u postignuću kvalitete temeljnih znanja između učenika koji su poučavani uporabom čestičnih crteža pri zapisu jednadžbe kemijske reakcije i pojmova o vodenim otopinama kiselina, baza i soli te učenika koji nisu poučavani uporabom čestičnog crteža.

2.6.1. Istraživačka pitanja

Temeljem navedenog cilja postavljena je hipoteza:
Očekuje se da će primjena čestičnog crteža pri poučavanju sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli pozitivno utjecati na kvalitetu znanja učenika tretmanske skupine.

Sljedeća istraživačka pitanja također su proizašla iz cilja istraživanja:

1. Koja se pogrešna shvaćanja o jednadžbi kemijske reakcije mogu prepoznati prije poučavanja sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli?

2. Kako se razlikuje konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije učenika komparabilne i tretmanske skupine prije korištenja čestičnog crteža pri poučavanju sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli?
3. Kako se razlikuje konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije i vodenih otopina kiselina, baza i soli učenika komparabilne i tretmanske tretmanske skupine nakon poučavanja sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli?
4. Koja se pogrešna shvaćanja o jednadžbi kemijske reakcije i vodenim otopinama kiselina, baza i soli mogu prepoznati nakon poučavanja sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli?

2.6.2. Varijable

Tijekom istraživanja promatrane su sljedeće pojave – zavisne i nezavisne varijable. Nezavisne varijable koje se pojavljuju u ovom istraživanju su: poučavanje uporabom čestičnog crteža, spol, konačna ocjena iz nastavnog predmeta kemija u 7. razredu i predznanje. Zavisna varijabla je kvaliteta znanja.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U dijelu teksta koji slijedi, opisane su pojedinosti o pripremi i provedbi ovog istraživanja. Navedene informacije su potrebne za razumijevanje studije s ciljem da omogućimo vanjsko vrednovanje procesa, ali i da drugim istraživačima olakšamo ponavljanje istraživanja kako bi se provjerili rezultati i zaključci.

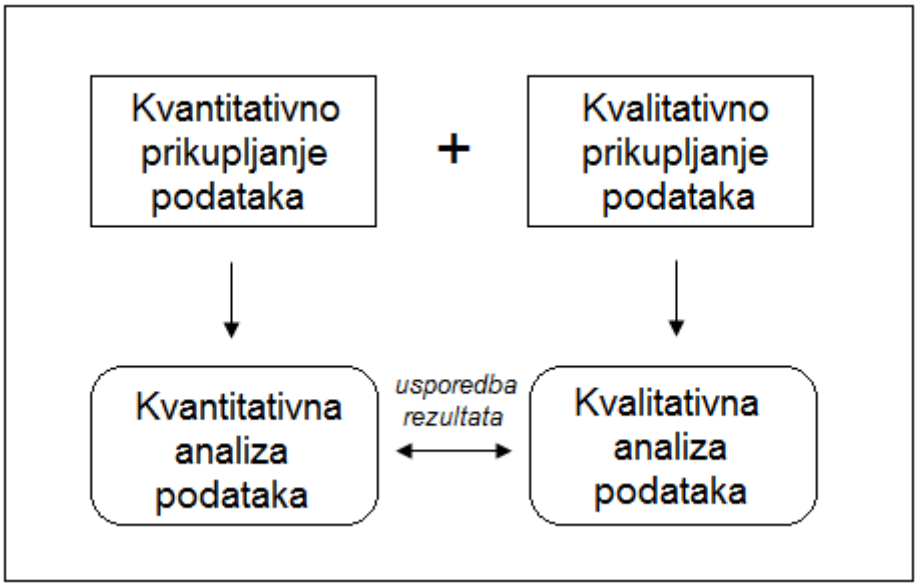
3.1. Paradigma i metodologijski pristup

Istraživanje ima uporište u pragmatizmu, filozofskoj paradigmi koja se očituje u nastojanju pronalaska učinkovitijih načina za objašnjavanje i razumijevanje društvenih pojava kako bi se odgovorilo na postavljena istraživačka pitanja. Pragmatično istraživanje usmjereno je na djelovanje, situacije i posljedice, to jest, na primjenu funkcionalnih rješenja u promatranoj problemskoj situaciji (Creswell, 2003). Ta situacija uvijek se istražuje u autentičnom okruženju što je u kontekstu provedenog istraživanja nastave kemije u osnovnoj školi. Pragmatizam istraživaču daje slobodu u izboru, primjeni i kombinaciji metoda koje najbolje odgovaraju svrsi i potrebama istraživanja (Creswell, 2003). Navedena paradigma je karakteristična za obrazovna istraživanja u kojima se istovremeno ili sukcesivno kombiniraju kvalitativne i kvantitativne istraživačke metode. Takav metodološki pristup istraživanju naziva se mješovita metodologija (Mixed method design).

Mješovita metodologija obuhvaća ne samo prednosti već i nedostatke obiju istraživačkih metoda. Prednost kvantitativnih metoda je u većem broju ispitanika i mogućnosti statističke analize, poopćavanja i primjeni u širokom spektru situacija. Kvantitativne metode vremenski su i troškovno isplativije. Nedostaci ove metode očituju se u ograničenim rezultatima istraživanja zbog numeričkih opisa istraživane teme, bez veće mogućnosti za detaljna objašnjenja. Prednost kvalitativnih metoda je u mogućnosti dubljeg uvida i razumijevanja istraživačkog problema. Naglasak kvalitativnih metoda je na procesu, a manje na rezultatima i zaključcima. Nedostaci ovih metoda ogledaju se u velikom vremenskom angažmanu istraživača, mogućoj pristranosti i utjecaju na ispitanika te interpretaciju podataka jer je istraživač u potpunosti uključen u istraživački proces (Tkalac-Verčić i sur., 2010).

S obzirom na cilj ovog istraživanja (utvrđivanje primjenjivosti čestičnog crteža u početnom poučavanju Kemje) najprikladnija strategija odabira metodologije empirijskog dijela istraživanja bila je tzv. *strategija istovremene triangulacije* (Creswell, 2009). Glavno obilježje

ove strategije je istovremeno korištenje kvantitativnih i kvalitativnih metoda za prikupljanje podataka, a zatim njihova usporedba kako bi se pronašla podudarnost i razlike. Kvalitativne i kvantitativne metode se koriste odvojeno jedna od druge pri čemu rezultati jedne metode ne utječu na rezultate druge metode. Miješanje metoda događa se pri usporedbi i interpretaciji podataka. Analiza podataka često započinje kvantitativnim rezultatima koje podupiru ili opovrgavaju kvalitativni rezultati, no moguć je i obrnuti slijed. Vizualni prikaz strategije predstavljen je na slici 3.1.



Slika 3.1. Strategija istovremene triangulacije (Creswell, 2009, str. 210)

3.2. Vrsta istraživanja

Istraživanje je empirijsko, jer se metodološki zasniva na provedbi pedagoškog eksperimenta pri čemu se prikupljaju podatci iz neposrednog odgojno obrazovnog procesa. Možemo ga svrstati i u razvojna istraživanja, jer služi uvođenju, za nastavu kemije u Hrvatskoj, novog obrazovnog postupka te provjeri njegove učinkovitosti u stjecanju kvalitete znanja. Nadalje, istraživanje je s obzirom na učestalost jednokratno tj. transverzalno jer se jednokratno mjere i uspoređuju rezultati tretmanske i komparabilne skupine. Obzirom na sudjelovanje autora u pripremi i realizaciji istraživanja može se nazvati i akcijskim istraživanjem (Bognar, 2006; Mužić, 2004).

3.3. Izvor podataka

Izvor podataka u ovom istraživanju je kvazieksperiment kojim je namjerno izazvana promjena s ciljem ispitivanja utjecaja uporabe čestičnog crteža na kvalitetu znanja. Kvazieksperimentalni nacrt uključuje odabir skupina na kojima se testira varijabla, bez preselekcijskih procesa poslučajenja uzorka ili ispitanika na kojemu se istraživanje provodi, odnosno provodi se u životnoj sredini i prirodnim uvjetima (Mejovšek, 2008).

Značajke primijenjene tretmanske metode su sljedeće: u obje ispitivane skupine obrađuju se isti nastavni sadržaji, nastava se istovremeno odvija u obje skupine i primijenjeni su isti mjerni instrumenti.

Primjenom kvazieksperimenta ustanovljene su uzročno-posljedične veze među pojavama u ovom istraživanju, pa s obzirom na ciljeve na koje je ovo istraživanje usmjereno, možemo ga svrstati u uzročna tj. kauzalna istraživanja. Istovremeno**,** ovo istraživanje je i opisno jer nije moguće uspostaviti uzročno-posljedičnu vezu ukoliko se prethodno ne raspolaže opisom pojava kojih se uzročno-posljedični odnos želi ispitati (Tkalac Verčić, Sinčić Ćorić i Pološki Vokić, 2010).

Istraživanje je provedeno u sklopu redovne nastave, bez promjene uobičajenog ritma nastave, rasporeda sati, programa i dodatnog angažmana učenika izvanškolskim obavezama, kako bi se dobili rezultati koji govore o uspješnosti primjene čestičnog crteža u svakodnevnoj nastavnoj praksi.

3.4. Uzorak kvazieksperimenta

3.4.1. Uzorak učenika

Osmišljeno istraživanje provedeno je u redovitoj nastavi kemije u osnovnim školama Splita, Zagreba i Osijeka. Zbog toga nije bilo moguće odabrati slučajan uzorak niti intervenirati unutar razrednog odjela i na razini predmetnog nastavnika. Uzorak koji je odabran za pedagoški kvazieksperiment bio je neslučajan, prigodni uzorak učenika osmih razreda osnovnih škola u Splitu (OŠ Split 3, OŠ Mejaši, OŠ Sućidar, OŠ Spinut, OŠ Blatine-Škrape), Zagrebu (OŠ Gustav Krklec, OŠ Ivana Gorana Kovačića) te Osijeku (OŠ Franje-Krežme, OŠ Ivan Filipović). Pritom su tretmanska i komparabilna (usporedna) skupina imale ~300 učenika (vidjeti Tablicu 3.1). Uzorak je prigodni i zato jer se učitelji teže odlučuju sudjelovati u istraživanju iz straha

da će izgubiti više vremena na poučavanje i dodatno testiranje te da će se istraživanje upotrijebiti za vrednovanje njihovog rada s učenicima.

Kako je kvazieksperiment trajao od rujna šk. god. 2014./2015. do svibnja šk. god. 2014./2015. broj učenika koji je sudjelovao u preliminarnom i završnom ispitu znanja nije ujednačen zbog izostanka s nastave u vrijeme pisanja testova.

Tablica 3.1. Pregled testiranih učenika tretmanske i komparabilne skupine po školama

	Osnovna škola	Broj učenika u preliminarnom ispitu znanja	Broj učenika u završnom ispitu znanja	Broj učenika koji su sudjelovali u oba testiranja
Tretmanska skupina	OŠ Split 3	72	73	
	OŠ Gustav Krklec	75	73	
	OŠ Sućidar	98	96	
	OŠ Franje Krežme	42	42	
Ukupno		287	284	**283**
Komparabilna skupina	OŠ Ivana Gorana Kovačića	61	64	
	OŠ Mejaši	44	43	
	OŠ Blatine-Škrape	46	49	
	OŠ Spinut	80	76	
	OŠ Ivan Filipović	72	75	
Ukupno		303	307	**298**

Rezultati učenika koji su nastavu pohađali po prilagođenom programu i individualiziranom pristupu nisu uzimani u obzir zbog različitih načina prilagodbe ispitnih zadataka. Testiranje ovih učenika zahtijeva semantičko pojednostavljivanje pitanja, smanjenje broja zadataka, produljeno vrijeme rješavanja, i dr. Isto vrijedi i za rezultate učenika koji su pisali samo preliminarni ili samo završni ispit znanja, budući je pisanje navedenih ispita znanja provedeno u sklopu redovne nastave. Rezultati učenika tretmanskih skupina su udruženi, kao i rezultati komparabilnih (usporednih) skupina. Na taj način smo dobili jednu tretmansku i jednu komparabilnu skupinu. Konačno, svim smo istraživačkim uvjetima podvrgli 581 učenika, od čega 283 u tretmanskoj skupini i 298 u komparabilnoj skupini.

3.4.2. Uzorak učiteljica

Pri izboru učiteljica uzeto je u obzir približno jednako nastavno radno iskustvo i pokazatelji da u svom radu postižu optimalne odgojno obrazovne rezultate. Sve učiteljice koje su sudjelovale u istraživanju imaju više od 15 godina radnog staža, visoku stručnu spremu, završen Prirodoslovno-matematički fakultet, smjer profesor biologije i kemije, odnosno profesor kemije. Tri učiteljice tretmanske skupine su napredovale u zvanje učitelja savjetnika, a jedna još nije napredovala u zvanju. U komparabilnoj skupini jedna učiteljica je stekla zvanje učitelj savjetnik, tri su učitelji mentori, a jedna učiteljica još nije napredovala.

Budući da su učiteljice u tretmanskim odjelima poučavale nastavne sadržaje o vodenim otopinama kiselina, baza i soli na zadani način, kako se nastavni sadržaji tih tretmanskih odjela ne bi prenijeli u komparabilne odjele, komparabilni su odjeli bili u drugim školama Splita, Zagreba i Osijeka.

Učiteljice i učenici komparabilne i tretmanske skupine su bili upoznati s ciljem kvazieksperimenta i postupkom testiranja te s tim u skladu u slučaju nejasnoća učiteljice su mogle kontaktirati istraživačicu. Potpuna kontrola nad poučavanjem i rješavanjem ispita znanja nije bila moguća zbog prostorne udaljenosti škola.

3.5. Etička razmatranja

Prigodom istraživanja poštovane su dogovorene vrijednosti, načela i standardi kako bi se postigla zadovoljavajuća razina etike u skladu s važećim pravilima i institucionalnim preporukama. Dozvolu za provedbu istraživanja izdalo je Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta (klasifikacijska oznaka: 602-01/14-01/00581). Također, istraživanje su pismeno odobrili ravnatelji/ce škola koje su sudjelovale u istraživanju. *Etički kodeks istraživanja s djecom* (Ajduković i Kolesarić, 2003) poštovao se u provedbi istraživanja. Roditelji i učenici su informirani o svrsi i cilju istraživanja, o tome što se očekuje od njih, donosi li im sudjelovanje neke rizike ili dobrobiti, razini i načinu održavanja povjerljivosti podataka, principu dobrovoljnosti, o trajanju i oblicima sudjelovanja, mogućnosti odustajanja u bilo kojoj fazi istraživanja, nepostojanju kazne za nepristajanje ili odustajanje od sudjelovanja, kontakt podatcima u slučaju dodatnih pitanja ili pojašnjenja te načinu korištenja i pristupu podatcima. Mogućnost nepristajanja i odustajanja učenika odnosila se na sudjelovanje u intervjuima i fokusnim grupama. Anonimnost sudionika bila je zajamčena. Učenicima koji su sudjelovali u

intervjuima i fokusnim grupama pridruženi su pseudonimi. Pisanu suglasnost za njihovo sudjelovanje u intervjuima i fokusnim grupama potpisali su roditelji.

3.6. Nacrt istraživanja

Istraživanje je provedeno prema nacrtu kvazieksperimenta s paralelnim (usporednim) skupinama. Ovaj tip nacrta obuhvaća dvije skupine, tretmansku i komparabilnu. Tretmanska skupina bila je izložena tretmanskim čimbenicima i to poučavanju uporabom čestičnog crteža koji predstavlja nezavisnu varijablu (model 1, slika 3.2). Komparabilnoj skupini je tretmanski čimbenik uskraćen (model 2, slika 3.2). Ispitanici su testirani prije i poslije intervencije. Na temelju razlike u rezultatima između tretmanske i komparabilne skupine te promjene između prvog i drugog testiranja odredio se utjecaj nezavisne varijable.

Istraživanje je provedeno s učenicima koji su šk. god. 2014./2015. upisali osmi razred osnovne škole.

Tri su etape provedenog kvazieksperimenta:

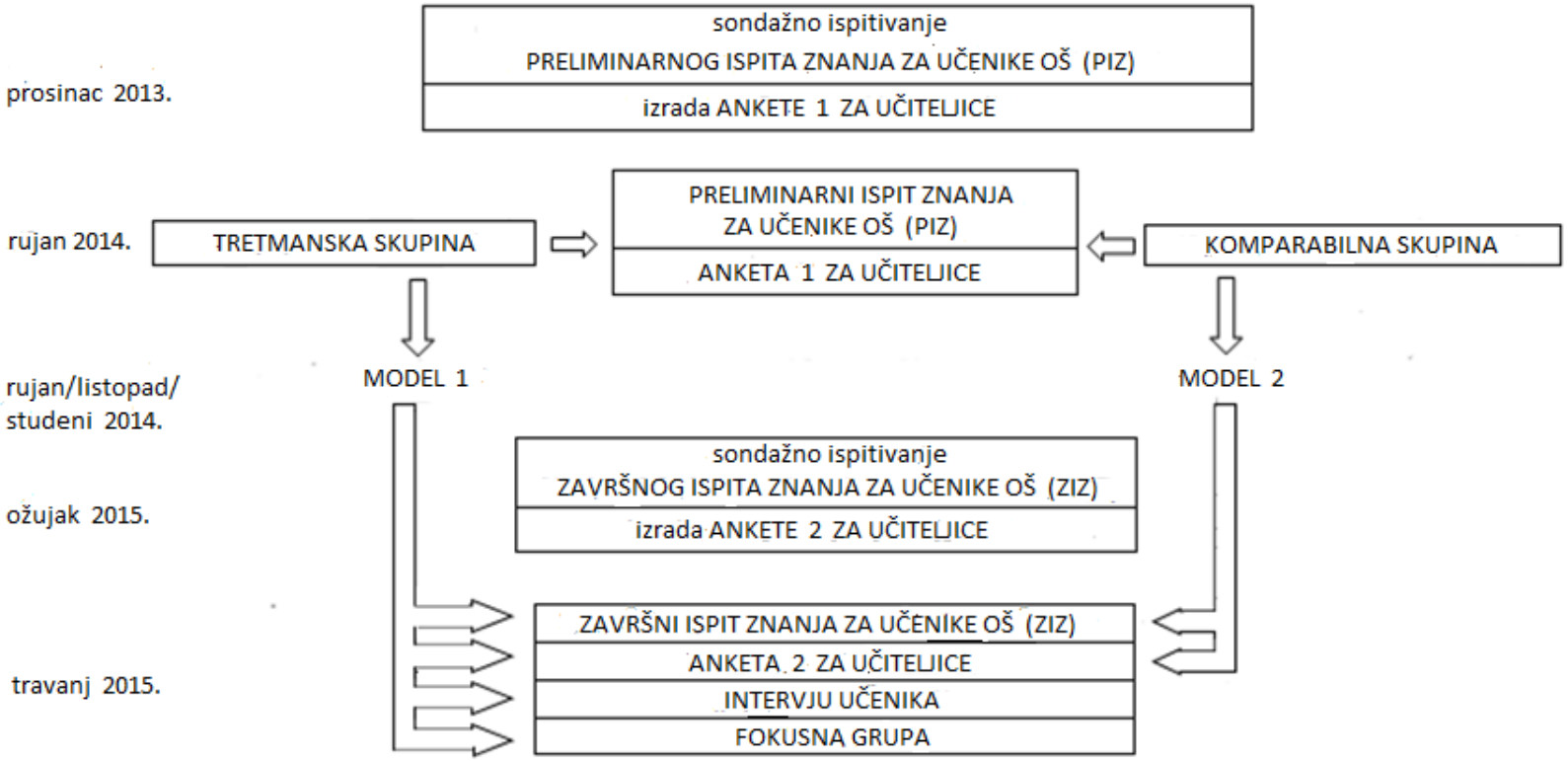
1. etapa istraživanja - priprema istraživanja, formiranje uzorka i preliminarno ispitivanje znanja

- Početkom studenog 2013. godine izrađen je preliminarni ispit znanja (PIZ) za učenike i anketa 1 za učiteljice.
- Tijekom prosinca 2013. godine provedeno je sondažno (probno) ispitivanje preliminarnog ispita znanja (PIZ) na uzorku od 357 učenika osmih razreda šk. god. 2013./2014. radi provjere i ispravka instrumenta. U provedbi sondažnog ispitivanja sudjelovale su škole iz Splitsko-dalmatinske županije: OŠ Split 3, OŠ Mertojak, OŠ Mejaši, OŠ Spinut, OŠ Sućidar, OŠ Trilj, OŠ Đermanec i OŠ Silvija Strahimira Kranjčevića. Sondažnim ispitivanjem utvrdilo se da dva zadatka ispituju isti koncept, pa je jedan zadatak promijenjen kako bi dobili sveobuhvatniji uvid u konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije.
- Tijekom rujna 2014. provedeno je ispitivanje preliminarnim ispitom znanja (PIZ) u tretmanskim i komparabilnim školama u svrhu detektiranja usvojenosti koncepta jednadžbe kemijske reakcije u trajanju 1 školski sat. Svi zadatci PIZ-a provjeravali su konceptualno znanje učenika. Provedena je i anketa 1 za učiteljice (vidjeti Prilog 1) koje su sudjelovale u istraživanju, o zapažanjima i možebitnim poteškoćama koje su se pojavile tijekom ispita znanja u tretmanskim i komparabilnim školama.

2. **etapa istraživanja -** kvazieksperiment s usporednim skupinama
    - Tijekom rujna i listopada 2014. odvijalo se poučavanje prema prijedlozima i preporukama za metodičku obradu iz Hrvatskog nacionalnog obrazovnog standarda (2004) i Nastavnog plana i programa za osnovnu školu (2006). Poučavanje je obuhvaćalo sljedeće nastavne jedinice: Kiseline i njihova svojstva (2 sata obrade nastavnih sadržaja i 1 sat ponavljanja gradiva), Spojevi metala-zajednička obilježja (2 sata obrade nastavnih sadržaja i 1 sat ponavljanja gradiva) i Neutralizacija (1 sat obrade nastavnih sadržaja i 1 sat ponavljanja sadržaja).

3. **etapa istraživanja -** završno ispitivanje znanja
    - Početkom ožujka 2014. godine izrađen je završni ispit znanja (ZIZ) za učenike i anketa 2 za učiteljice.
    - Krajem ožujka 2014. godine provedeno je sondažno (probno) ispitivanje završnog ispita znanja (ZIZ) na uzorku od 22 učenika osmog razreda OŠ Mertojak radi provjere i ispravka instrumenta. Sondažnim ispitivanjem nije se utvrdila potreba za doradom i izmjenom ZIZ-a.
    - Tijekom travnja i početkom svibnja 2014. provedeno je ispitivanje usvojenosti i retencije temeljnih znanja o jednadžbi kemijske reakcije i vodenim otopinama kiselina, baza i soli završnim ispitom znanja (ZIZ) u trajanju 1 školski sat. Svi zadatci ispita provjeravali su konceptualno znanje učenika. Provedena je i anketa 2 za učiteljice (vidjeti Prilog 2) koje su sudjelovale u istraživanju o didaktičkim strategijama koje su koristile pri ponavljanju i dopunjavanju usvojenih znanja o jednadžbi kemijske reakcije i vodenim otopinama kiselina, baza i soli. Učiteljice su opisale zapažanja i možebitne poteškoće koje su se pojavile tijekom provođenja kvazieksperimenta (tretmanske škole) i završnog ispita znanja i sposobnosti (tretmanske i komparabilne škole).
    - U svibnju 2014. godine deset učenika OŠ Split 3 je intervjuirano polustrukturiranim intervjuom čiji je cilj bio utvrditi usvojenost temeljnih znanja o jednadžbi kemijske reakcije i vodenih otopina kiselina, baza i soli. Intervjuiranje svakog učenika trajalo je približno 20 minuta. Odabrani su učenici koji su u ZIZ-u postigli različite rezultate. Potom je provedena fokusna grupa u trajanju od 1 školskog sata. Cilj fokusne grupe koja se sastojala od pet učenika sugovornika bio je dobiti podatke visoke kvalitete o usvojenosti navedenih kemijskih koncepata. Fokusna grupa se

odvijala u podržavajućem socijalnom okruženju gdje su sudionici mogli iznijeti svoje znanje i mišljenja, a također ih i razmotriti u kontekstu odgovora drugih učenika na isto pitanje. Razgovor polustrukturiranog intervjua, kao i fokusne grupe je sniman uz prethodnu pismenu suglasnost roditelja učenika koji su pristupili ovim metodama prikupljanja podataka (slika 3.2).



Slika 3.2. Shematski prikaz provedbe istraživanja (nacrt istraživanja)

3.7. Tretmanski čimbenici i modeli poučavanja

Pedagoške pojave i njihove karakteristike opisane su na temelju prikupljenih podataka usvojenosti nastavnih sadržaja o konceptu jednadžbe kemijske reakcije, vodenih otopina kiselina, lužina i soli te podataka dobivenih intervjuiranjem učenika i anketiranjem učiteljica.

Preduvjet poučavanju i usvajanju nastavnih sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli je realizacija odgojno-obrazovnih ishoda čiji je pregled dan u Tablici 3.2.

Tablica 3.2. Nastavne teme i obrazovni ishodi koji su nužni za čestično poimanje promjena u vodenim otopinama

Pojam	Nastavna tema	Odgojno-obrazovni ishodi
Agegacijsko stanje tvari	Fizikalna svojstva tvari	- opisati fizikalna svojstva tvari - razlikovati fizikalna svojstva tvari
Fizikalne i kemijske promjene tvari	Fizikalne i kemijske promjene tvari	- razlikovati fizikalne i kemijske promjene na temelju pokusa
Elementarna tvar, kemijski spoj	Vrste tvari	- razlikovati elementaru tvar i kemijski spoj na temelju pokusa
Otopina	Otopine	- svrstati otopine u homogene smjese tvari −razlikovati pojmove otopina i otapalo
Indikator	Otopine	- objasniti da su indikatori kiselina i lužina vrste kemijskih spojeva koji mijenjaju boju u kiselim i lužnatim otopinama
Fizikalna svojstva vode	Voda	- opisati svojstva vode kao otapala na temelju pokusa
Atomi, kemijski element, kemijski simbol	Atomi i kemijski elementi	- objasniti temeljne predodžbe o atomu - uočiti da se pojam kemijski element odnosi na vrstu atoma - navoditi imena i kemijske simbole najvažnijih kemijskih elemenata − razlikovati kvalitativno i kvantitativno značenja kemijskih simbola − upotrijebiti simbole kemijskih elemenata u raspravi ili samostalnim izlaganjima

Ion, formulska jedinka, naboj kationa i aniona	Ioni i ionske strukture	- shematski prikazati i obrazložiti nastajanje iona iz atoma - razlikovati atome od iona - razlikovati anione i katione - objasniti kako se označavaju ioni - objasniti značenje pojma formulska jedinka spoja (najmanji omjer broja atoma ili iona u spoju, odnosno empirijska formula spoja) - uočiti da u ionskom spoju zbroj pozitivnih naboja kationa mora biti jednak zbroju negativnih naboja aniona
Molekula, molekulska formula	Povezivanje atoma-molekula	- razlikovati molekule elementarnih tvari od molekula kemijskih spojeva - navoditi imena i formule nekoliko jednostavnijih spojeva molekulske građe: HCl, H_2O, NH_3, CH_4, CO_2, SO_2, SO_3, CO, N_2O, NO_2, N_2O_3, itd. − imenovati jednostavniji spoj molekulske građe na temelju kemijske formule - prepoznati broj i vrstu atoma koji grade molekulu na temelju molekulskih formula elementarnih tvari i spojeva − razlikovati kvalitativno i kvantitativno značenje kemijske formule
Valencija	Valencije i kemijske formule	- odrediti valencije atoma 1., 2., 16. i 17. skupine elemenata u ionskim spojevima na temelju tablice periodnoga sustava elemenata − usvojiti pisanje empirijske i molekulske formule jednostavnijih (binarnih) kemijskih spojeva na temelju poznatih valencija vodika i kisika − odrediti valencije elemenata iz formule spoja
Kemijske reakcije, zakon o očuvanju mase, reaktanti, produkti, jednadžba kemijske reakcije	Kemijske reakcije i očuvanje mase	- uočiti da je ukupna masa reaktanata jednaka ukupnoj masi produkata kemijske reakcije (zakon o očuvanju mase) na temelju pokusa − objasniti kemijske promjene (reakcije) na temelju stečenoga znanja o atomima − opisati jednostavne kemijske promjene jednadžbama kemijske reakcije

		− objasniti da broj i vrsta atoma na lijevoj strani jednadžbe mora biti jednak broju i vrsti atoma na desnoj strani jednadžbe
Promjena energije, toplina, sustav, okolina	Kemijske reakcije i okolina	- objasniti promjene temperature u reakcijskom sustavu i okolini tijekom fizikalnih i kemijskih promjena na temelju pokusa − uočiti da sustav može preuzeti ili osloboditi energiju u obliku topline, svjetlosti, električne energije ili rada

Za potrebe ovog istraživanja osmišljena su dva modela poučavanja. Cilj poučavanja obje skupine bio je realizirati odgojno obrazovne ishode predviđene Hrvatskim nacionalnim obrazovnim standardom (2006). Nastavne pripreme i upute za rad tretmanske i komparabilne skupine temeljile su se na Nastavnom planu i programu za osnovnu školu (2006). Važno je napomenuti da su obje skupine poučavane iste nastavne sadržaje, koristeći iste primjere za što je bilo predviđeno jednako vrijeme. (vidi Prilog 8).

Poučavanje tretmanskih skupina temeljilo se na tripletnom modelu prikaza sadržaja. U tretmanskim skupinama korištene su aktivne strategije učenja uz uporabu čestičnog crteža kao nastavnog sredstva (model 1). Poučavanje je obuhvaćalo učenički pokus, crtanje čestičnih crteža te potom pisanje jednadžbi kemijskih reakcija. Drugim riječima, makroskopska opažanja objašnjavala su se na submikroskopskoj razini čestičnim crtežom i potom simbolički popratila jednadžbom kemijske reakcije. Vlastitom aktivnošću učenici su uočili problem, definirali ga, pronašli rješenja i izveli zaključke. Aktiviranje sudionika odgojno-obrazovnog procesa postignulo se strategijom primjerenom malim skupinama, a to je radionica (workshop). Učenici su surađivali u skupinama koje su brojile 4–5 učenika. Međusobno su kritički preispitivali opažanja i rezultate kemijskih promjena, a do konačnih zaključaka i rješenja dolazilo se diskusijom svih učenika u razredu. Učiteljice su ponekad prekidale rad i prezentaciju rezultata skupina kako bi im pomogle u otklanjanju poteškoća povezanih s nastavnim aktivnostima. Također, učiteljice su ukoliko je bilo potrebno usmjeravale učenike kako bi došli do točnog odgovora. Zadaća učiteljica bila je i da potaknu učenike na aktivno sudjelovanje u diskusijama. Učenici su ponekad ponovno crtali čestične crteže kako bi opaženu kemijsku promjenu točno prikazali na čestičnoj razini. Poučavanje je uključivalo analizu prednosti, ali i ograničenja korištenja čestičnih crteža. Na taj se način stvorilo okruženje koje omogućava učenicima aktivno sudjelovanje, intelektualni angažman i konceptualnu promjenu. Učenici su pri tome

poticani da sagledaju i objasne kemijsku pojavu na makroskopskoj, submikroskopskoj i simboličkoj razini i da usvojena znanja objedine u cjelinu.

U komparabilnim skupinama korištene su iste aktivne strategije učenja, ali bez uporabe čestičnog crteža kao nastavnog sredstva (model 2). Naime, poučavanje je obuhvaćalo učenički pokus te pisanje jednadžbi kemijskih reakcija. Kemijske pojave objašnjavale su se na makroskopskoj i simboličkoj razini bez korištenja submikroskopske razine. Tijekom diskusije učenici su opisivali opažanja, iznosili rezultate i zaključke.

Tijekom odvijanja kvazieksperimenta, rad učenika tretmanske skupine su sustavno promatrale njihove učiteljice i bilježile svoja zapažanja u anketnom upitniku (reakcije učenika, nedostatak vremena za primjenu čestičnog crteža i druge eventualne poteškoće). Podatci prikupljeni anketiranjem učiteljica nisu sastavni dio analiza i korišteni su samo kao izdvojeni citati u tekstu koji slijedi. Učiteljice su uglavnom imale pozitivna iskustva vezana za primjenu čestičnog crteža. Učenici su bili zainteresirani, rado su surađivali i sudjelovali u grupnom radu. Izdvojeni komentari nalaze se u nastavku:

- „Većina učenika pažljivo je pratila i aktivno sudjelovala u nastavi, crtala čestične crteže i riješavala zadatke.“
- „Smatram da se u osnovnoj školi čestični crteži ne koriste dovoljno pa učenici imaju poteškoća s razumijevanjem čestične razine.“
- „Učenici s lošijim ocjenama iz kemije često ne razumiju značenje jednadžbe kemijske reakcije ni čestičnog prikaza.“
- „Vježbanje kod kuće u nekih učenika potpuno izostaje što se odražava i na njihovo znanje.“
- „Učenici su dragovoljno i aktivno sudjelovali u istraživanju, ponavljanju i pripremi za pismene provjere. Odlični i vrlo dobri učenici dobro su motivirani. U rješavanju testa kod nekih učenika je prisutan problem s koncentracijom, nedostaje im vrijeme i tada odustaju.“
- „Učenici rado sudjeluju u izvođenju pokusa, pisanju opažanja i zaključivanju te crtanju čestičnih crteža. Na satu većina obavi sve predviđene aktivnosti.“
- „Učenici koji se planiraju upisati u gimnazije pokazuju veći interes za čestične crteže.
- „Učenike sam motivirala tako da sam im obećala visoku ocjenu iz kemije ukoliko dobro napišu test.“

U nastavku slijede citati izdvojenih iskaza koji se odnose na prednosti primjene čestičnog crteža:

- „Čestični crtež pomaže u razumijevanju apstraktnih kemijskih pojmova."
- „Primjenom čestičnog crteža učenici su stekli bolji uvid u događaje na čestičnoj razini."
- „Prednost čestičnog crteža je ta što njegovo korištenje ne iziskuje dodatna materijalna sredstva."

Sljedeći citati izdvojeni iz anketnih upitnika odnose se na ograničenja primjene čestičnog crteža:

- „Uz postojeći plan i program nedostaje vremena za primjenu čestičnog crteža u nastavi."
- „Neki učenici su nedovoljno pažljivo crtali čestične crteže što je rezultiralo nepreciznim i netočnim crtežima. Nastavnik bi trebao imati više vremena za kontrolu rada učenika."
- „Previše se vremena izgubi na crtanje crteža. Ostaje premalo vremena za izvođenje učeničkog pokusa."
- „Učenici teže shvaćaju čestične crteže koji prikazuju kemijske promjene koje uključuju ionske vrste."

3.8. Mjerni instrumenti

Instrumenti pomoću kojih su prikupljeni podatci o tome je li primjena čestičnog crteža prije opisivanja promatrane promjene jednadžbom kemijske reakcije omogućila višu razinu kvalitete znanja jesu: (a) preliminarni ispit znanja (PIZ) - *Pisana provjera usvojenosti koncepta jednadžbe kemijske reakcije čestičnim crtežom* i (b) završni ispit znanja (ZIZ) - *Pisana provjera usvojenosti temeljnih kemijskih koncepata - jednadžba kemijske reakcije; vodene otopine kiselina, baza i soli.* Preliminarnim ispitivanjem utvrđena je trenutna primjena znanja o jednadžbi kemijske reakcije u tretmanskoj i komparabilnoj skupini. Test se sastojao od 4 konceptualna zadatka, odnosno 5 čestica ukoliko ih promatramo kao zasebne elemente vrednovanja. Ovim testom obuhvaćen je:

- koncept jednadžbe kemijske reakcije,

- koncept mjerodavnog reaktanta.

Završnim ispitivanjem utvrđena je primjena temeljnih znanja o jednadžbi kemijske reakcije i vodenim otopinama kiselina, baza i soli, odnosno, je li poučavanje nastavnih sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli uporabom čestičnog crteža pozitivno utjecalo na kvalitetu znanja učenika tretmanske skupine. Test je sadržavao 13 zadataka, odnosno 24 čestice ukoliko ih promatramo kao zasebne elemente vrednovanja. Ovim testom ispitivalo se konceptualno znanje sljedećih koncepata:

- koncept jednadžbe kemijske reakcije,
- koncept mjerodavnog reaktanta,
- koncept disocijacije kiselina, baza i soli,
- koncept neutralizacije.

Za izradu ispita znanja korišteni su konceptualni zadatci zatvorenog i otvorenog tipa. Nekoliko zadataka preuzeto je iz objavljenih obrazovnih istraživanja, no većina su autorski konceptualni zadatci. Autorske zadatke kao i njihovu kvalitativnu analizu recenzirale su tri učiteljice kemije koje rade u osnovnoj školi, dva metodičara nastave kemije i jedan sveučilišni profesor kemije. Stručnjaci su procijenili da su testovi valjani ocjenjujući raznolikost pitanja, upotrijebljene kemijske termine te dužinu i smislenost rečenica. Utvrđeno je da su korišteni testovi u skladu sa zahtjevima nastavnog programa čime je osigurana valjanost sadržaja. Kako bi se istražilo konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije i vodenih otopina kiselina, baza i soli, korišteni su čestični crteži u dvodijelnim zadatcima višestrukog izbora i zadatcima otvorenog tipa. U prvom dijelu dvodijelnih zadataka višestrukog izbora provjerena je sposobnost povezivanja opisa promatrane kemijske promjene jednadžbom kemijske reakcije (najčešći simbolički zapis) s uporabom čestičnog crteža (vizualizacijom submikroskopske razine). Ponuđena su četiri crteža od kojih je jedan točan, a preostali su distraktori koji se temelje na pogrešnim shvaćanjima prethodno opisanim u obrazovnoj literaturi. U drugom dijelu zadatka učenici su obrazlagali svoj odgovor. Kvalitativni podatci prikupljeni obrazloženjima nastoje ući u srž problema i pružiti detaljniji opis razmišljanja ispitanika. U zadatcima otvorenog tipa od učenika se tražilo crtanje čestica produkata ili svih sudionika kemijske reakcije na temelju opisa jedinične promjene jednadžbom kemijske reakcije. Prije ispitivanja temeljnih znanja o konceptu tvari (i preliminarnog i završnog) učenici su dobili detaljne upute o trajanju ispita (do 1 školski sat), o broju i tipovima pitanja. Ocjene testa upisane su u imenik ukoliko su učenici bili zadovoljni s ocjenom.

3.9. Analiza podataka

Kvantitativni podatci dobiveni testovima analizirali su se statističkim programom za društvene znanosti SPSS (*Statistical Package for Social Science*; SPSS 23.0 za Windowse, IBM). Grafički prikazi su obrađeni u računalnom programu MS Excel 2013. Vrijednosti numeričkih varijabli prikazane su kao:

- aritmetička sredina (srednja vrijednost postignuća u testovima za tretmansku i komparabilnu skupinu),
- standardna devijacija (mjera raspršenja rezultata oko aritmetičke sredine),
- postotak.

Unutarnja valjanost testova procijenjena je računanjem:

- koeficijenta pouzdanosti (Cronbach α koeficijent),
- indeksa težine,
- indeksa diskriminativnosti zadatka.

Cronbach α koeficijentom procjenjuje se pouzdanost pitanja u pismenim provjerama znanja, odnosno procjenjuje se prosječna korelacija između svih zadataka u provjeri znanja. Više vrijednosti ukazuju na veću međusobnu povezanost zadataka. Prema Cohen i sur. (2007) vrijednosti Cronbach α koeficijenta se tumače :

veće od 0,90	vrlo visoko pouzdane,
0,80–0,90	visoko pouzdane,
0,70–0,79	pouzdane,
0,60–0,69	granično/minimalno pouzdane,
<0,60	neprihvatljivo nisko pouzdane.

Indeks težine zadataka predstavlja prosječnu vrijednost postignuća svih učenika po zadatku, a indeks težine testa prosječnu vrijednost indeksa težine svih zadataka na testu. Mitra i sur. (2009) prema Milenković (2014) vrijednost indeksa težine u zadatcima testa interpretiraju na sljedeći način:

<0,30	težak zadatak,
0,30–0,80	zadatak umjerene težine,
>0,80	lagan zadatak.

Diskriminativnost je obilježje zadatka koje opisuje „sposobnost“ zadatka da mjeri individualne razlike među učenicima, a odraz su njihovih stvarnih razlika u znanju određenih sadržaja. Indeks diskriminativnosti zadataka je izračunata razlika u prosječnom postignuću između 27 % najuspješnijih i 27 % najmanje uspješnih učenika prema ukupnom rezultatu na testu, a indeks diskriminativnosti testa je izračunata prosječna vrijednost indeksa diskriminativnosti svih zadataka na testu. Visoka diskriminativnost govori da taj zadatak dobro razlikuje učenike s obzirom na njihovo znanje, dok niska diskriminativnost predstavlja slučajnu povezanost zadatka i ukupnog uratka, stoga takve zadatke treba izostaviti. Ebel i Frisbie (1991) prema Milenković (2014) tumače vrijednost indeksa diskriminativnosti na sljedeći način:

>0,40 visoka diskriminativnost,

0,30–0,39 dobra diskriminativnost,

0,20–0,29 prihvatljiva diskriminativnost,

<0,20 za narednu uporabu potrebna je revizija.

Vanjska valjanost testa utvrđena je na osnovi povezanosti rezultata u testovima i ocjene iz Kemije na završetku sedmog razreda. Korelacija je izračunata pomoću Spearmanovog koeficijenta korelacije (rho, r_s) ili korelacije ranga. Spearmanov koeficijent korelacije izračunava se kada jedan od skupa podataka slijedi ordinalnu ljestvicu ili kada raspodjela podataka značajno odstupa od normalne raspodjele te postoje podatci koji značajno odstupaju od većine izmjerenih. Uobičajeno se smatra kako vrijednosti r predstavljaju:

0,20–0,35 ili od –0,20 do –0,35 slabu povezanost među varijablama,

0,35–0,65 ili od –0,35 do –0,65 zadovoljavajuću povezanost za gruba predviđanja,

0,65 do 0,85 ili od –0,65 do –0,85 zadovoljavajuću povezanost za precizna predviđanja,

>0,85 ili –0,85 upućuju na snažnu povezanost varijabli (Cohen i sur., 2007).

Pri obradi podataka o ujednačenosti komparabilne i tretmanske skupine s obzirom na spol (atributivno obilježje) korišten je *hi* kvadrat ($\chi 2$) test za ispitivanje značajnosti razlike. Provjera normaliteta raspodjele rezultata izvršena je *Kolmogorov-Smirnovljevim* testom. Za utvrđivanje razlike u zaključnim ocjenama komparabilne i tretmanske skupine korišten je neparametrijski *Mann-Whitney U test* koji se temelji na usporedbi rangiranih podataka dviju skupina podataka. Razlika u rezultatima preliminarnog i završnog ispita znanja između dviju skupina utvrđena je primjenom *t-testa. T-test* je mjera statističke značajnosti razlike aritmetičkih sredina koja se dobiva dijeljenjem razlike aritmetičkih sredina sa standardnom pogreškom te razlike. Standardizirana mjera veličine učinka izračunata je po Cohen-ovoj d

formuli koja je omjer razlike aritmetičke sredine tretmanske i komparabilne skupine i zajedničke standardne devijacije populacija tretmanske i komparabilne skupine. Prema Cohenu i sur., (2007) vrijednost veličine učinka *d* predstavlja:

0–0,20 slab učinak,
0,21–0,50 skroman učinak,
0,51–1,00 umjeren učinak,
>1,00 snažan učinak.

Izvršena je sadržajna (kvalitativna) analiza rezultata obrazloženja učenika u dvodijelnim zadatcima višestrukog izbora, učeničkih crteža i jednadžbi kemijskih reakcija radi utvrđivanja pogrešnih shvaćanja. Kako bi se osigurala valjanost i pouzdanost pri analizi rezultata, učenička obrazloženja i crteži koji predstavljaju jedinicu analize su kodirani, odnosno svrstani pod zajedničke nazive. Podatci su se integrirali grupiranjem podataka koji ulaze u iste kodove. Kodiranje je izvršeno po shemi koju su za ovo istraživanje izradila dva istraživača kako bi se materijal organizirao u logičke cjeline i smisleno interpretirao. Oni su odvojeno kodirali sva obrazloženja i crteže i potom usporedili rezultate. Međusobna pouzdanost iskazana u postotcima iznosila je 87 %. Kodovi su isprva određeni prema istraživačkim pitanjima, ali za vrijeme analize podataka uočile su se skupine podataka koje ne odgovaraju tim kodovima pa su se usuglašavali novi kodovi. Nakon usuglašavanja kodova, metodičar nastave kemije je analizirao prikupljene podatke i potvrdio inicijalne kodove. Dogovor je postignut međusobnom diskusijom.

Anketiranjem učiteljica uključenih u istraživanje dobiveni su kvalitativni podatci sa zapažanjima i možebitnim poteškoćama koje su se pojavile tijekom provođenja kvazieksperimenta. Rezultati anketa za učiteljice koje su sudjelovale u istraživanju obrađeni su također kvalitativno.

Kako bi se dobio sveobuhvatniji uvid u istraživački problem, obogatili i oplemenili rezultati pedagoškog eksperimenta, kvantitativni i kvalitativni podatci dobiveni testovima upotpunili su se kvalitativnim podatcima dobivenim polustrukturiranim intervjuem, fokusnom grupom i anketnim upitnicima.

Učenici tretmanske skupine intervjuirani su nakon završnog ispita znanja kako bi se stekao bolji uvid u razumijevanje nastavnih sadržaja te razjasnile nejasnoće proizašle iz njihovih odgovora u završnom testu znanja. Polustrukturirani intervju započeo je unaprijed određenim pitanjima, u vidu tema za razgovor. Postavljena pitanja omogućila su učenicima da

izraze svoje mišljenje i potakla razvoj intervjua prema nestrukturiranom razgovoru postavljanjem potpitanja koja nisu bila unaprijed pripremljena. Pri analizi većeg broja slučajeva svaki pojedini slučaj smatrao se jedinstvenim i posebnim.

Valjanost prikupljenih podataka provjerila se triangulacijom. Triangulacija omogućava cjelovitiji i precizniji uvid u pedagoški eksperiment jer ga analizira i objašnjava s više različitih aspekata. Prostornu triangulaciju osiguralo je sudjelovanje učenika i učiteljica osnovnih škola u Splitu, Zagrebu i Osijeku. Triangulacija istraživača postignuta je sudjelovanjem devet učiteljica kemije, metodičara kemije i sveučilišnog profesora kemije, a triangulacija tehnika korištenjem testova i intervjua.

4. REZULTATI I RASPRAVA

U skladu s namjerom istraživanja da se sazna kako primjena čestičnog crteža utječe na kvalitetu i dugotrajnost temeljnih znanja o konceptu jednadžbe kemijske reakcije i vodenih otopina kiselina, baza i soli učenika osmih razreda osnovne škole, prikupljeni su različiti podatci provođenjem preliminarnog i završnog ispita znanja, anketa 1 i 2 za učiteljice te polustrukturiranim intervjuom i fokusnom grupom. Na temelju analize istih, omogućeno je zaključivanje i uopćavanje te preporuke za pedagošku praksu. Zbog opsežnosti rezultata i diskusije, koju bi zahtijevala analiza svih navedenih instrumenata, u ovoj doktorskoj radnji naglasak će biti na analizi, interpretaciji i diskusiji rezultata preliminarnog i završnog ispita znanja.

Preliminarni ispit znanja imao je za cilj izjednačavanje skupina i utvrđivanje početnog znanja, dok je završni ispit znanja proveden u cilju praćenja napretka učenika u obje ispitivane skupine.

4.1. Ujednačenost komparabilne i tretmanske skupine prema nekim analiziranim obilježjima

Prije utvrđivanja utjecaja primjene čestičnog crteža u poučavanju vodenih otopina kiselina, baza i soli na rezultate učenika komparabilne i tretmanske skupine potrebno je utvrditi jesu li učenici tih dviju skupina ujednačeni po nekim relevantnim parametrima. Od varijabli prikupljenih istraživanjem bilo je moguće utvrditi jesu li učenici tih dviju skupina ujednačeni po spolnoj raspodjeli, po konačnim ocjenama iz kemije u sedmom razredu i početnoj razini znanja.

Provjera ujednačenosti komparabilne i tretmanske skupine s obzirom na spol (atributivno obilježje) izvršena je *hi* kvadrat ($\chi 2$) testom (Tablica 4.1). Rezultati spolne raspodjele vrijede i za završni ispit znanja, jer su analizirani rezultati učenika koji su sudjelovali u oba testiranja.

U obje skupine nešto je više dječaka, a mala razlika u omjerima među skupinama nije statistički značajna (χ^2=0,767; p=0,088).

Tablica 4.1. Spolna raspodjela ispitanika u tretmanskoj i komparabilnoj skupini

Skupina	Spol			χ^2	*p*
	muško	**žensko**	***ukupno***		
Komparabilna	150	148	298	0,767	0,088
Tretmanska	145	138	283		

Deskriptivni statistički podatci pokazuju da su prosječne ocjene na kraju sedmog razreda iz kemije učenika tretmanske skupine neznatno niže u odnosu na učenike komparabilne skupine (M_T=3,59; M_K=3,73). Kako raspodjela konačnih ocjena iz kemije na kraju sedmog razreda ne odgovara normalnoj raspodjeli, što je pokazao Kolmogorov-Smirnovljev test (K-S=0,197; *p*=0,000), ujednačenost skupina ispitali smo primjenom neparametrijskog Mann-Whitney U testa (*U*=39819,000). Izračunata p-vrijednost (0,076) veća je od granične (0,05), na temelju čega se može zaključiti da se dvije ispitivane skupine mogu smatrati statistički jednakim s obzirom na konačnu ocjenu iz kemije na kraju sedmog razreda.

Razlika u početnom znanju između komparabilne i tretmanske skupine utvrđena je preliminarnim ispitom znanja. Raspodjela rezultata preliminarnog ispita znanja ne odgovara normalnoj raspodjeli, što je pokazao Kolmogorov-Smirnovljev test (K-S=0,144; *p*=0,000), pa smo ujednačenost skupina ispitali primjenom neparametrijskog Mann-Whitney U testa. Rezultati ove analize (*U*=42572,500; *p*=0,925) pokazali su da se dvije ispitivane skupine s obzirom na rezultate preliminarnog ispita znanja mogu smatrati statistički jednakim.

4.2. Metrijske osobine ispita znanja i sposobnosti iz kemije

Testovi pomoću kojih su se prikupili podatci o tome je li primjena čestičnog crteža prije opisivanja promatrane promjene jednadžbom kemijske reakcije omogućila višu razinu kvalitete znanja jesu: (a) preliminarni ispit znanja (PIZ) - *Pisana provjera usvojenosti koncepta jednadžbe kemijske reakcije čestičnim crtežom* i (b) završni ispit znanja (ZIZ) - *Pisana provjera usvojenosti temeljnih kemijskih koncepata - jednadžba kemijske reakcije; vodene otopine kiselina, baza i soli*. Prvi je formiran u svrhu ujednačavanja skupina i utvrđivanja početne razine znanja učenika komparabilne i tretmanske skupine. Drugi ispit znanja je formiran kao mjera znanja iz kemije nakon utjecaja poučavanja čestičnim crtežom. Obje

skupine učenika bile su testirane preliminarnim i završnim ispitom znanja u istim uvjetima i na jednak način.

Pri izradi testa vodilo se računa da sadržaji oba ispita znanja obuhvaćaju samo one relevantne sadržaje koje su učenici obiju skupina obradili tijekom prethodnog nastavnog razdoblja. Svi zadatci testova su konceptualni zadatci koji ispituju višu kognitivnu razinu znanja, odnosno, konceptualno razumijevanje temeljnih kemijskih pojmova.

Analizi dobivenih rezultata prethodila je analiza valjanosti i pouzdanosti testa. U Tablici 4.2 prikazane su metrijske osobine ispita u te dvije situacije.

Tablica 4.2. Osnovne metrijske karakteristike i pouzdanost testova korištenih u istraživanju

	Preliminarni ispit znanja (PIZ)	**Završni ispit znanja (ZIZ)**
n	581	581
M	5,42	15,56
Mdn	5	16
D	5	15
SD	3,01	8,09
Minimalni broj bodova	0	0
Maksimalni broj bodova	15	33
Broj čestica	5	24
Maksimalni mogući broj bodova	15	33
% Rješivosti-prosječni rezultat	36,13 %	47,15 %
Cronbach α	0,681	0,801

Legenda: n – broj učenika

M – aritmetička sredina

Mdn – središnja vrijednost rangiranih podataka (medijan)

D – dominantna vrijednost (mod)

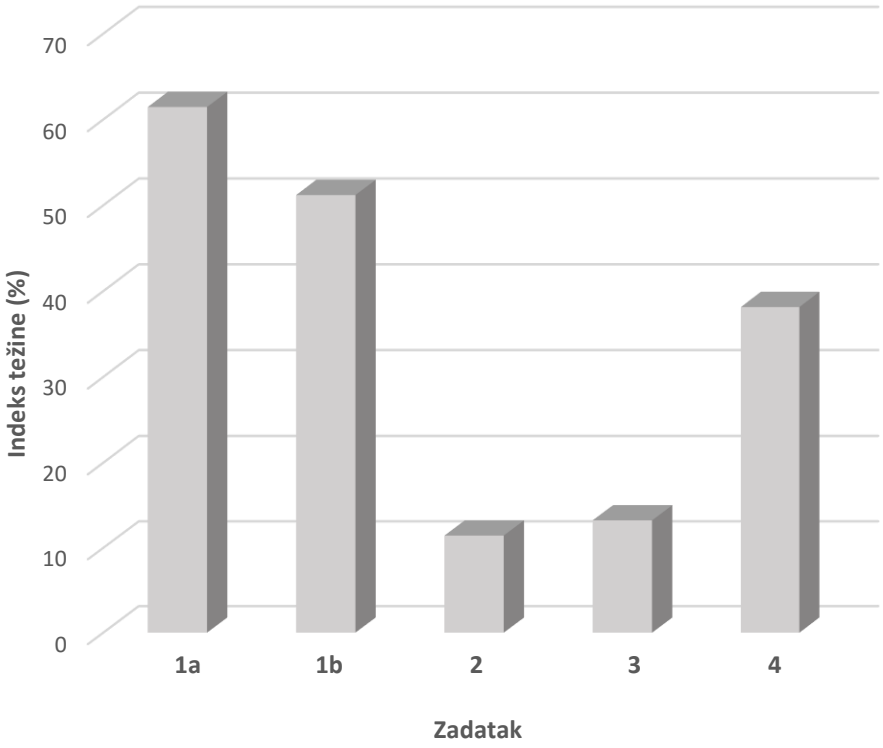
SD – standardna devijacija (mjera raspršenja podataka oko aritmetičke sredine)

Cronbach α – koeficijent pouzdanosti

Rezultati oba ispita znanja kreću se od minimalnog do maksimalnog broja bodova. Pouzdanost testova mjerena je metodom unutarnje konzistencije, odnosno Cronbach α koeficijentom. Dobivena vrijednost ovog koeficijenta za preliminarni ispit znanja iznosi 0,681.

Navedena vrijednost veća je od granične te uzimajući u obzir prirodu istraživanja i mali broj zadataka ukazuje na donekle zadovoljavajuću pouzdanost. Ovaj test većinom svojih čestica mjeri jedinstven predmet mjerenja – konceptualno znanje o jednadžbi kemijske reakcije.

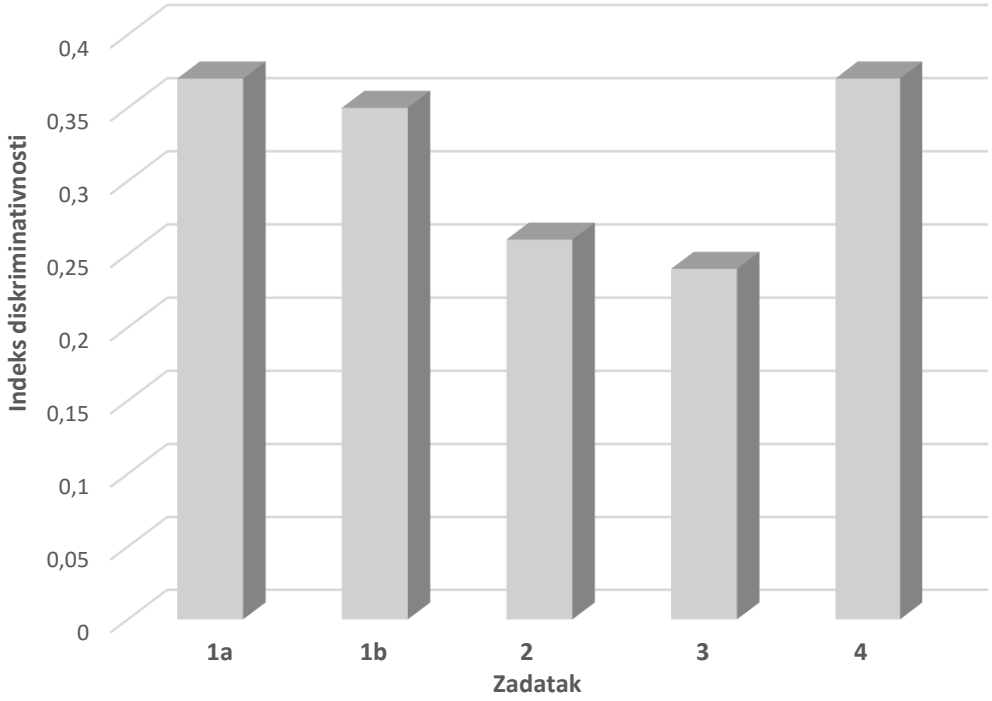
Indeks težine preliminarnog ispita znanja iznosi 36,13 %, na osnovu čega ovaj test možemo svrstati u kategoriju testova umjerene težine. Indeksi težine pojedinih zadataka kreću se u rasponu 11,45–61,46 % (slika 4.1).



Slika 4.1. Indeksi težine zadataka preliminarnog ispita znanja

Drugi i treći zadatak imaju indeks težine manji od 30 %, što ukazuje na teške zadatke, dok je u prvom i četvrtom zadatku indeks težine između 30 % i 80 %, što predstavlja zadatke umjerene težine.

Indeks diskriminativnosti testa iznosi 0,31 i na osnovu ove vrijednosti ga možemo svrstati u kategoriju testova dobre diskriminativnosti. Vrijednosti indeksa diskriminativnosti pojedinih zadataka variraju u opsegu od 0,24–0,37 (slika 4.2). Indeks diskriminativnosti prvog i četvrtog zadatka je u opsegu od 0,30–0,39, što ih svrstava u kategoriju zadataka dobre diskriminativnosti. Drugi i treći zadatak imaju prihvatljiv indeks diskriminativnosti ($0,20<Id<0,29$).

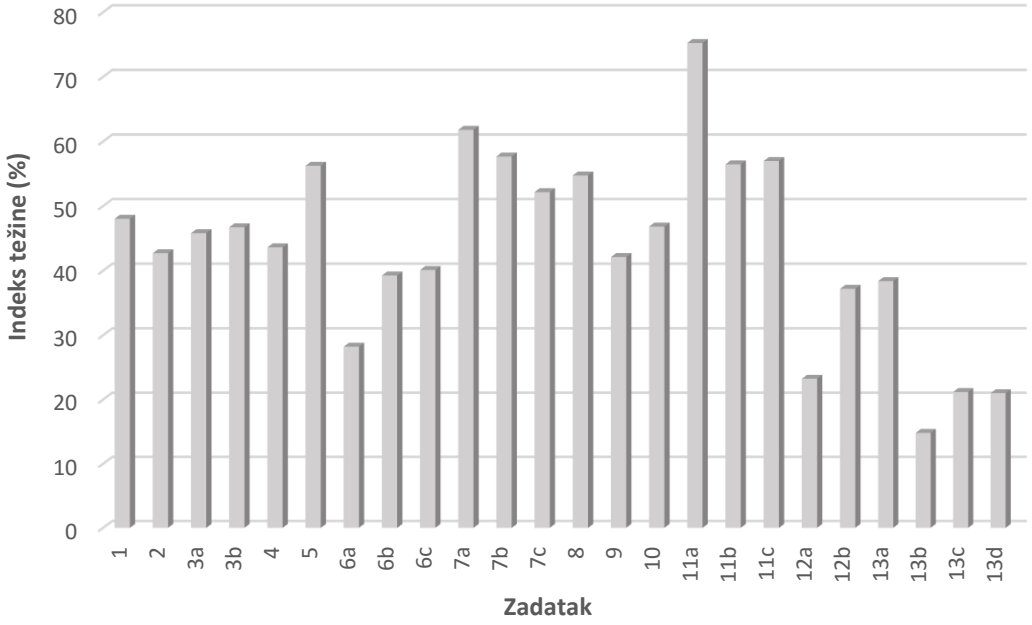


Slika 4.2. Indeksi diskriminativnosti zadataka preliminarnog ispita znanja

Vanjska pouzdanost preliminarnog ispita znanja utvrđena je na osnovi povezanosti rezultata u preliminarnom ispitu znanja i ocjene iz Kemije na kraju sedmoga razreda. Korelacija rezultata u testu i ocjene iz Kemije na kraju sedmoga razreda, izračunata pomoću Spearmanovog koeficijenta korelacije, iznosi r=0,513, što ukazuje na zadovoljavajuću povezanost za gruba predviđanja.

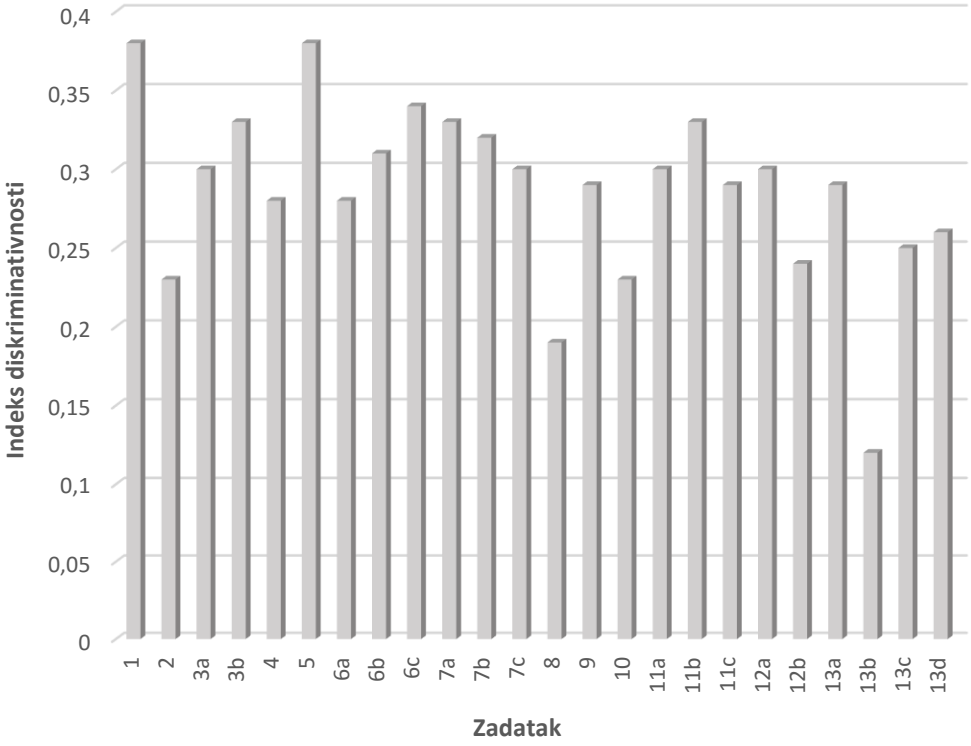
Cronbach α koeficijent pouzdanosti završnog ispita znanja iznosi α=0,801. Vrijednost koeficijenta ukazuje na visoku pouzdanost testa znanja, što znači da velika većina čestica dosljedno mjeri isti predmet mjerenja – konceptualno znanje kemijskih sadržaja o jednadžbi kemijske reakcije i vodenim otopinama kiselina, baza i soli.

Završni ispit znanja lakši je učenicima od preliminarnog i također ga možemo svrstati u testove umjerene težine, jer njegov indeks težine iznosi 43,77 %. Iznosi medijana i dominantne vrijednosti pokazuju da je preliminarni ispit znanja teži od završnog ispita znanja. Indeksi težine pojedinih zadataka kreću se u rasponu od 14,8–75,22 %. Pet zadataka spada u kategoriju teških zadataka, a sedamnaest zadataka je umjerene težine (slika 4.3).



Slika 4.3. Indeksi težine zadataka završnog ispita znanja

Vrijednost indeksa diskriminativnosti pojedinih zadataka je u rasponu od 0,12 – 0,38 (slika 4.4).

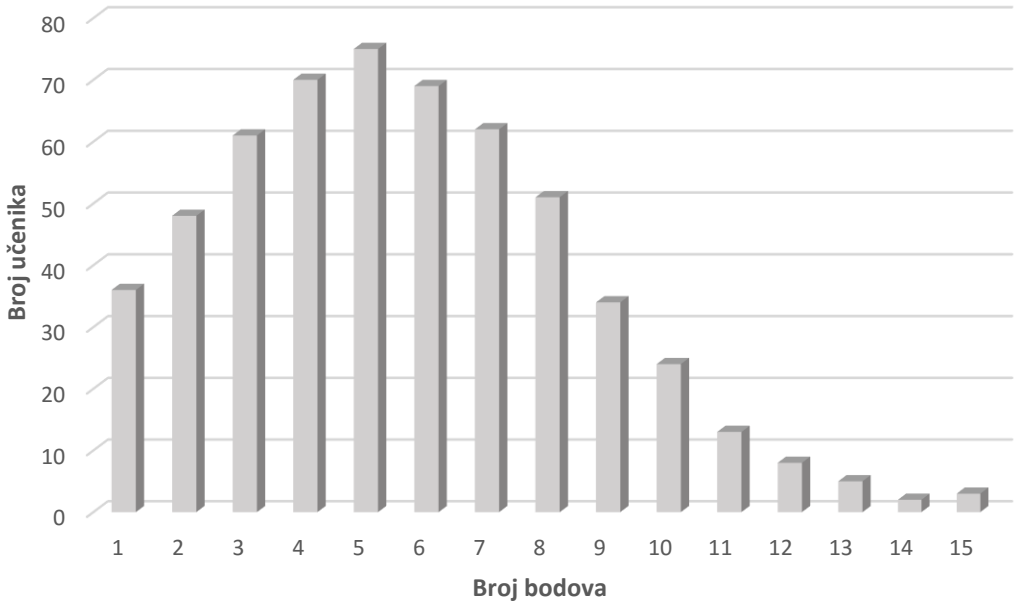


Slika 4.4. Indeksi diskriminativnosti zadataka završnog ispita znanja

Dvanaest zadataka ima indeks diskriminativnosti u opsegu od 0,30–0,39, što ih svrstava u kategoriju zadataka dobre diskriminativnosti. Deset zadataka ima prihvatljiv indeks diskriminativnosti (0,20–0,29), dok dva zadataka imaju indeks diskriminativnosti manji od 0,20, što znači da bi ih za narednu uporabu u izvjesnoj mjeri trebalo doraditi. Nijedan od zadataka nema negativni indeks diskriminacije, što znači da nijedan od analiziranih zadataka nije potrebno izuzeti. Indeks diskriminativnosti testa iznosi 0,29 i na osnovu ove vrijednosti ga možemo svrstati u kategoriju testova prihvatljive diskriminativnosti.

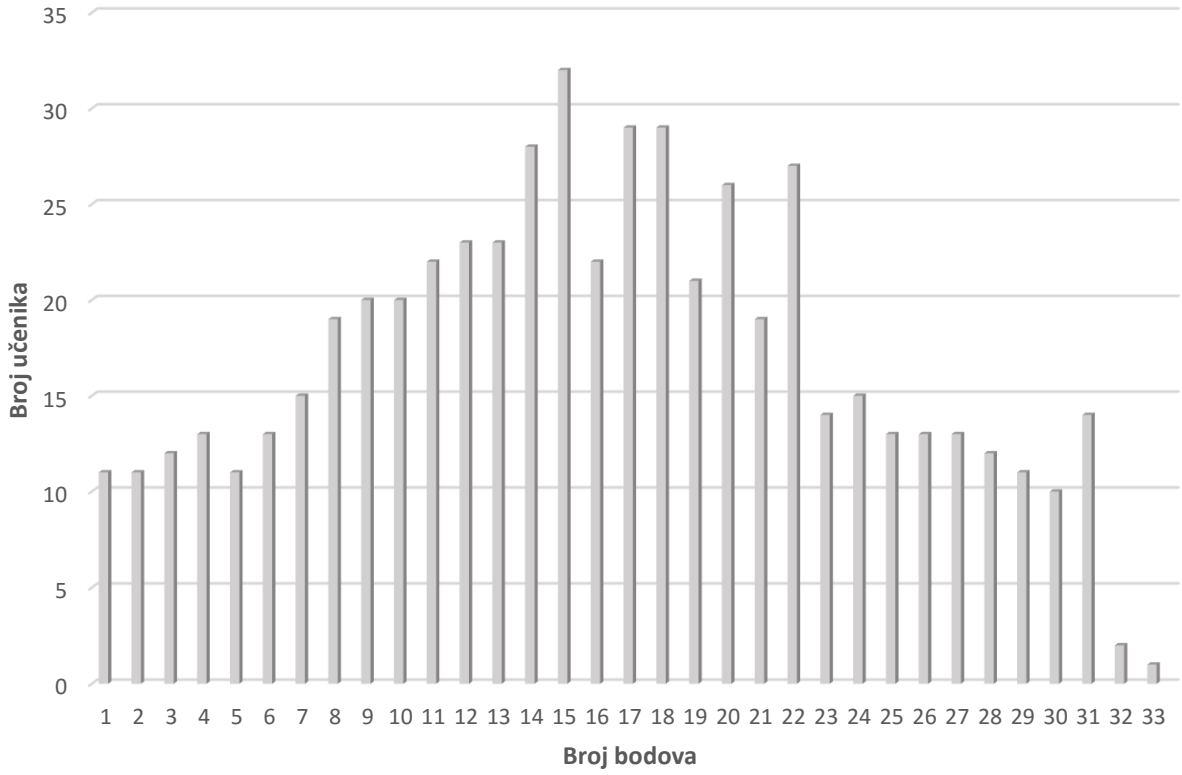
Vanjska pouzdanost završnog ispita znanja utvrđena je na osnovi povezanosti rezultata u završnom ispitu znanja i ocjene iz Kemije na kraju sedmoga razreda. Korelacija rezultata u testu i ocjene iz Kemije na kraju sedmoga razreda, izračunata pomoću Spearmanovog koeficijenta korelacije, iznosi r=0,550, što ukazuje na zadovoljavajuću povezanost za gruba predviđanja.

Raspodjela rezultata u ispitima znanja, korištenim u ovom istraživanju, prikazana je i slikama 4.5 i 4.6. Iz slike 4.5 vidljivo je da se u slučaju preliminarnog ispita znanja radi o raspodjeli koja je pozitivno asimetrična, odnosno pomaknuta u lijevo. Takav oblik raspodjele jasno ukazuje na veću frekvenciju lošijih rezultata u ispitu znanja što potvrđuje da je ispit za učenike umjereno težak. Ispit bolje razlikuje ispitanike s višim rezultatima, dok je mogućnost razlikovanja onih s prosječnim ili nižim rezultatima u ovome ispitu smanjena.



Slika 4.5. Raspodjela rezultata učenika na preliminarnom ispitu znanja

Raspodjela rezultata u završnom ispitu znanja, prikazana na slici 4.6 je simetrična i odgovara normalnoj raspodjeli. Takva raspodjela zorno prikazuje da se radi o visoko osjetljivom mjernom instrumentu koji dobro razlikuju ispitanike po znanju kemije. Usporedbom obje raspodjele rezultata možemo zaključiti da je preliminarni ispit znanja učenicima teži od završnog ispita.



Slika 4.6. Raspodjela rezultata učenika u završnom ispitu znanja

4.3. Analiza utjecaja primjene čestičnog crteža na rezultate učenika u završnom ispitu znanja

Kako bi utvrdili učinak tretmanskog čimbenika koji se očituje u primjeni čestičnog crteža, bilo je potrebno najprije utvrditi početno znanje tretmanske i komparabilne skupine u znanju kemije, izmjereno preliminarnim ispitom znanja (vidjeti Tablicu 4.3). Značajnost razlika ispitana je Mann-Whitney U testom za nezavisne uzorke.

Tablica 4.3. Usporedba razlika u broju bodova u ispitu znanja iz kemije učenika tretmanske i komparabilne skupine u preliminarnom ispitu znanja

Skupina	**n**	***M***	***SD***
Komparabilna	298	5,40	3,90
Tretmanska	283	5,44	4,02

Deskriptivni podaci pokazuju da učenici tretmanske skupine imaju prosječno neznatno više bodova u odnosu na učenike komparabilne skupine u preliminarnom ispitu (M_T=5,44; M_K=5,40). Budući da rezultati preliminarnog ispita znanja nisu normalno raspodijeljeni, primjenom neparametrijskog testa za nezavisne uzorke, Mann-Whitney U testa (U=42572,500; p=0,925), dokazano je da ne postoji statistički značajna razlika u znanju u preliminarnom ispitu znanja između komparabilne i tretmanske skupine.

Kako bi se ispitao utjecaj tretmanskog čimbenika, treba ispitati je li nepostojanje razlike u znanju između komparabilne i tretmanske skupine, koje je dokazano u preliminarnom ispitu znanja, postojano i u završnom ispitu znanja, ili se razlika pojavljuje. Ukoliko i dalje ne postoji statistički značajna razlika između skupina, moglo bi se zaključiti da poučavanje primjenom čestičnog crteža ne utječe na kvalitetu znanja. Značajna razlika u znanju u korist tretmanske skupine, značila bi da je primjena čestičnog crteža kojoj je bila izložena tretmanska skupina pozitivno utjecala na kvalitetu znanja. Ukoliko je komparabilna skupina statistički značajno bolja, poučavanje kemijskih nastavnih sadržaja bez uporabe čestičnog crteža pozitivnije bi utjecalo na kvalitetu znanja.

U Tablici 4.4 prikazani su i uspoređeni rezultati učenika komparabilne i tretmanske skupine u završnom ispitu znanja, odnosno nakon provedbe tretmanskog čimbenika. Deskriptivni podatci pokazuju da učenici tretmanske skupine imaju prosječno više bodova M=17,22 u odnosu na učenike komparabilne skupine M=14,45 u ZIZ-u. Normalna raspodjela rezultata završnog ispita znanja utvrđena je primjenom Kolmogorov-Smirnovljevog testa (K-S=0,036; p=0,067). T-testom (t(579)=4,177; p=0,000) je dokazano da u završnom ispitu znanja postoji statistički značajna razlika u znanju između komparabilne i tretmanske skupine, odnosno da je tretmanska skupina statistički značajno bolja u završnom testiranju.

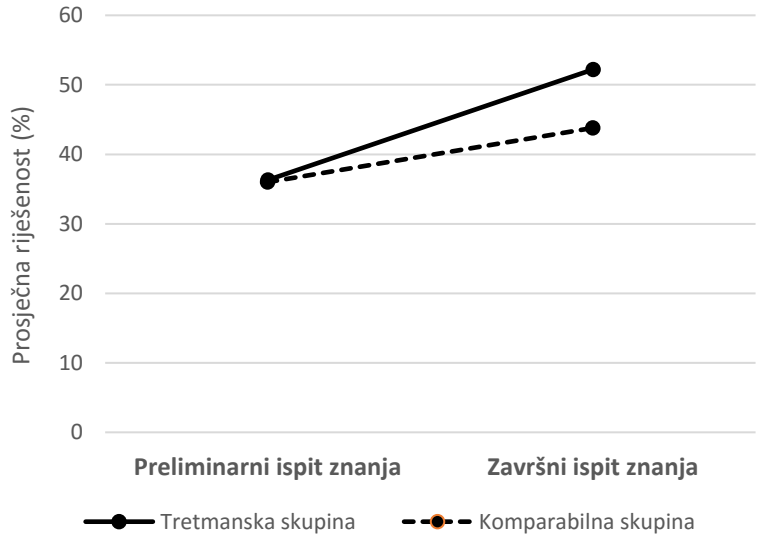
Razlika između rezultata tretmanske i komparabilne skupine, nastala poučavanjem čestičnim crtežom, kvantitativno je izražena veličinom učinka. Vrijednost veličine učinka

izračunata je po Cohen-ovoj d formuli i potvrđuje da je tretmanska skupina uspješnija od komparabilne. Izračunata vrijednost iznosi 0,35 i predstavlja skroman učinak.

Tablica 4.4. Usporedba razlika u broju bodova u završnom ispitu znanja učenika tretmanske i komparabilne skupine

Skupina	**n**	***M***	***SD***	***t- test***	***p***
Komparabilna	298	14,45	7,98		
				4,177	0,000
Tretmanska	283	17,22	7,99		

Iz slike 4.7 uočavamo da su rezultati obje skupine u preliminarnom ispitu znanja bili ujednačeni, a u završnom ispitu znanja je tretmanska skupina ostvarila bolji rezultat.

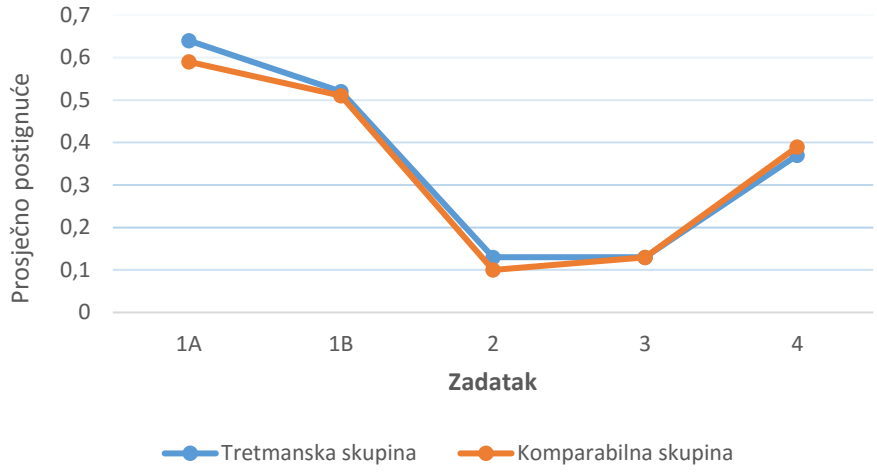


Slika 4.7. Prosječni rezultati komparabilne i tretmanske skupine u preliminarnom i završnom ispitu znanja

4.4. Analiza utjecaja primjene čestičnog crteža na rezultate pojedinačnih zadataka u završnom ispitu znanja

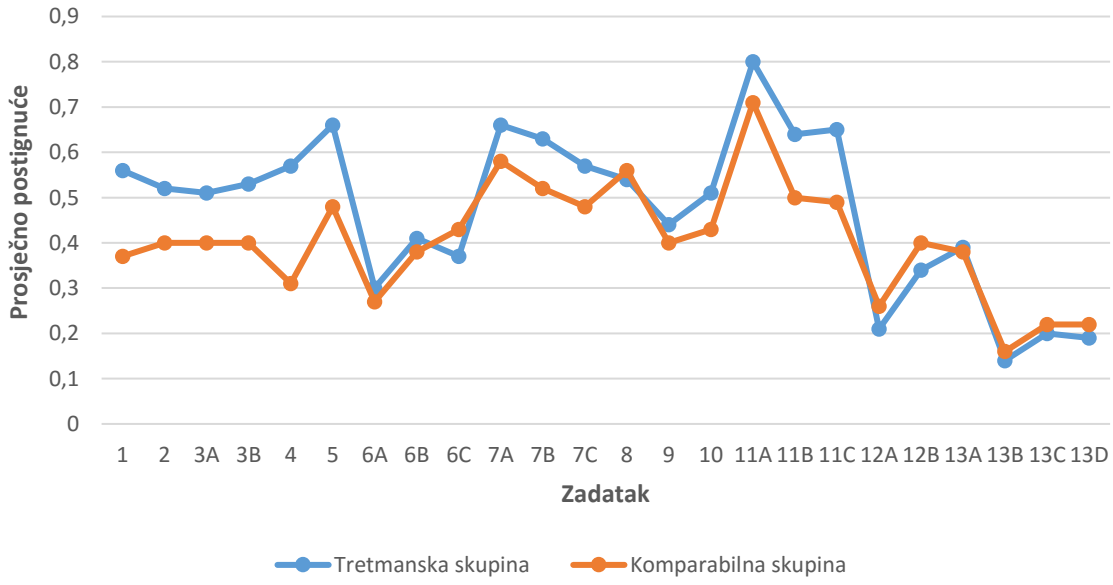
U okviru analize postignuća važno je utvrditi je li razlika između dvije ispitivane skupine ostvarena i u pojedinačnim zadatcima. Na slici 4.8 dat je prikaz prosječnih postignuća za svaki zadatak, usporedno za tretmansku i komparabilnu skupinu u preliminarnom ispitu

znanja. Prosječno postignuće zadatka je omjer aritmetičke sredine i ukupnog broja bodova u tom zadatku. Iako su rezultati ujednačeni, učenici tretmanske skupine su bili uspješniji u 1A i 2. zadatku, a učenici komparabilne skupine neznatno bolji u 4. zadatku.



Slika 4.8. Usporedni prikaz prosječnih postignuća po zadatcima učenika tretmanske i komparabilne skupine u preliminarnom ispitu znanja

Učenici tretmanske skupine postigli su u gotovo svim zadatcima završnog ispita znanja iste ili bolje rezultate u odnosu na učenike komparabilne skupine (slika 4.9). Učenici tretmanske skupine znatno su bolji u 1., 2., 3A, 3B, 4., 5., 7A, 7B, 7.C, 10., 11A, 11B i 11C, a učenici komparabilne skupine samo u 12B zadatku.



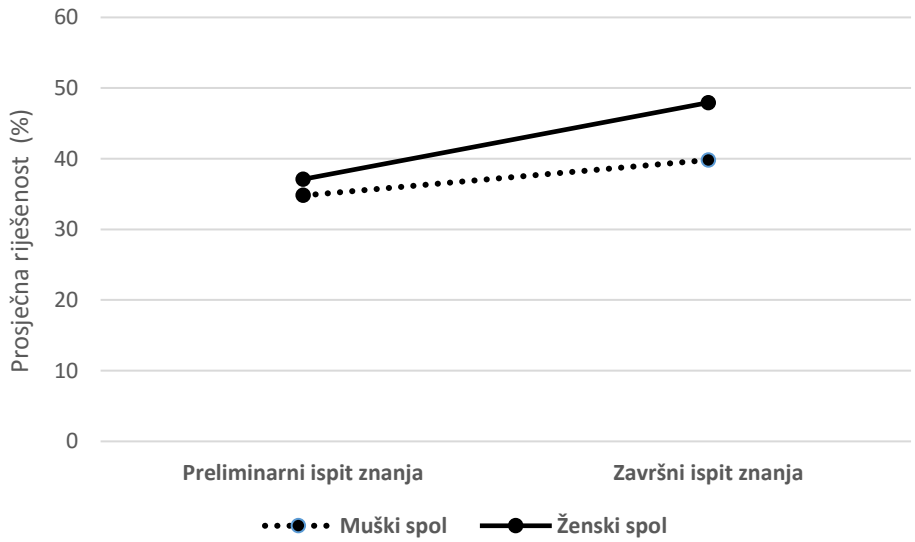
Slika 4.9. Usporedni prikaz prosječnih postignuća po zadatcima učenika tretmanske i komparabilne skupine u završnom ispitu znanja

Iz navedenih rezultata moguće je zaključiti da su učenici, poučavani uz primjenu čestičnog crteža, uspješnije savladali nastavne sadržaje vezane za jednadžbu kemijske reakcije i vodene otopine kiselina, baza i soli.

4.5. Usporedba rezultata tretmanske i komparabilne skupine prema spolu

Usporedbom rezultata tretmanske i komparabilne skupine prema spolu utvrdit će se jesu li razlike u rezultatima između spolova statistički značajne. Na osnovu rezultata dobit će se povratna informacija o tome utječe li primjena čestičnog crteža jednako na postignuća muške i ženske populacije ispitanika.

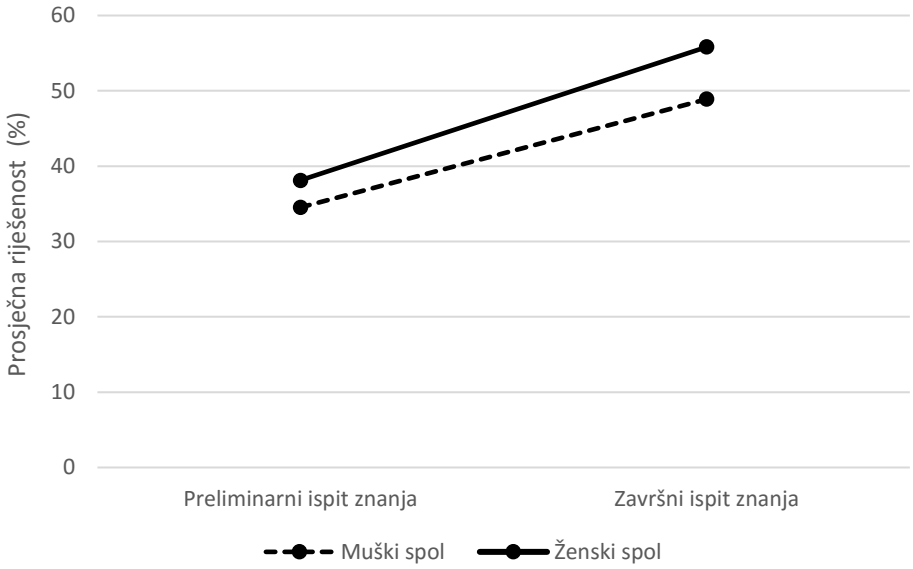
Na slici 4.10 dat je usporedni prikaz rezultata muških i ženskih ispitanika komparabilne skupine za preliminarni i završni ispit znanja. Na slici se uočava da su rezultati preliminarnog ispita znanja učenika muškog (M_M=5,22) i ženskog spola ($M_Ž$=5,57) približno jednaki. Mann-Whitney U testom je dokazano da ne postoji statistički značajna razlika u znanju između učenika oba spola (U=10207,000; p=0,228)



Slika 4.10. Prosječna riješenost preliminarnog i završnog ispita znanja učenika komparabilne skupine prema spolu

Učenice su bile uspješnije od učenika u završnom ispitu znanja (M_M=13,14, $M_Ž$=15,82). T-testom je dokazano da je ta razlika u rezultatima statistički značajna (t=2,523; p=,012).

Slika 4.11 prikazuje prosječne rezultate učenika tretmanske skupine prema spolu. Iako su učenice tretmanske skupine ($M_{Ž}$=5,72) uspješnije od učenika tretmanske skupine (M_{M}=5,18) u preliminarnom ispitu znanja, ne postoji statistički značajna razlika u njihovim rezultatima (U=8987,000; p=0,063).

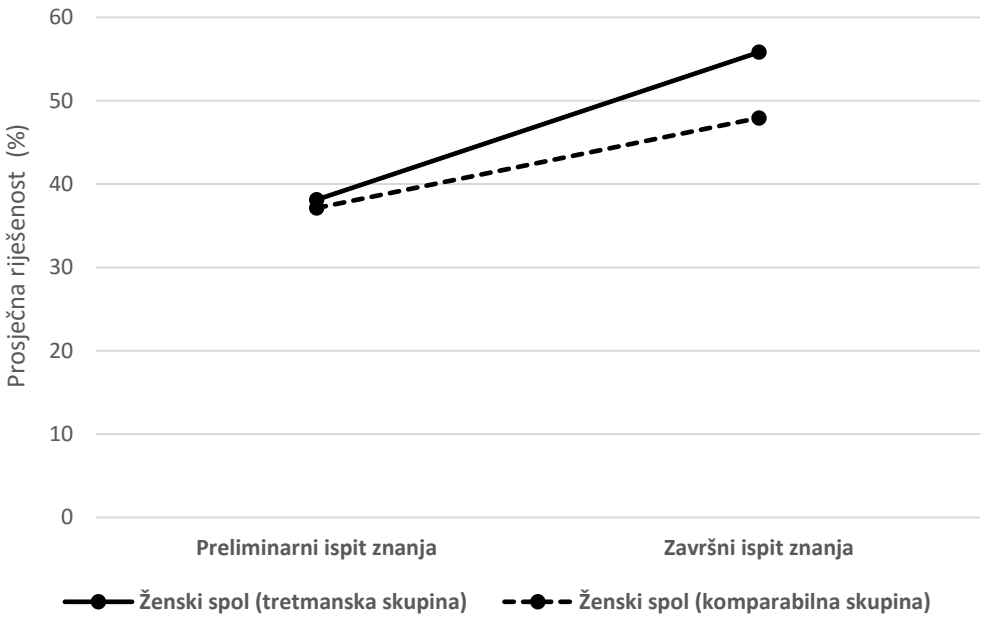


Slika 4.11. Prosječna riješenost preliminarnog i završnog ispita znanja učenika tretmanske skupine prema spolu

U završnom ispitu znanja, učenice ($M_{Ž}$=18,42) su također uspješnije od učenika (M_{M}=16,13) tretmanske skupine. T-testom je dokazana statistički značajna razlika u rezultatima učenika i učenica tretmanske skupine u završnom ispitu znanja (t=2,491; p=0,013).

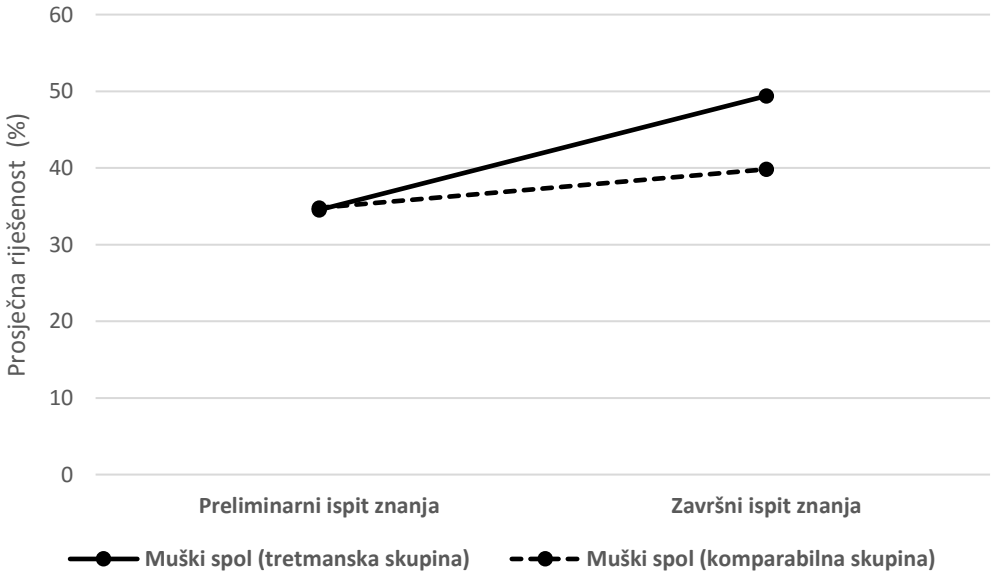
Kako bi objektivnije utvrdili učinak primjene čestičnog crteža prema spolnoj raspodjeli, uspoređeni su rezultati učenika tretmanske i komparabilne skupine te učenica tretmanske i komparabilne skupine u oba testiranja (slika 4.12 i slika 4.13).

Učenice tretmanske skupine ($M_{ŽE}$=5,72) uspješnije su u preliminarnom ispitu znanja od učenica komparabilne skupine ($M_{ŽK}$=5,57). Mann-Whitney U testom je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika u rezultatima učenica obiju skupina u preliminarnom ispitu znanja (U=10420,500; p=0,127). Prosječan rezultat učenica tretmanske skupine ($M_{ŽE}$=18,42) u završnom ispitu znanja je znatno bolji od učenica komparabilne skupine ($M_{ŽK}$=15,82). Primjenom t-testa je utvrđena statistički značajna razlika u postignućima učenica tretmanske i komparabilne skupine u završnom ispitu znanja (t=3,138; p=0,002). Rezultat t-testa potvrđuje učinkovitost primjene čestičnog crteža u populaciji učenica.



Slika 4.12. Prosječna riješenost preliminarnog i završnog ispita znanja učenica tretmanske i komparabilne skupine

Učenici tretmanske skupine (M_{MT}=5,18) postigli su neznatno lošije rezultate u preliminarnom ispitu znanja testu u odnosu na učenike komparabilne skupine (M_{MK}=5,22). Mann-Whitney U testom je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika u rezultatima učenika obiju skupina u preliminarnom ispitu znanja (U=10613,000; p=0,950).



Slika 4.13. Prosječna riješenost preliminarnog i završnog ispita znanja učenika tretmanske i komparabilne skupine

Prosječan rezultat učenika tretmanske skupine (M_{MT}=16,13) u završnom ispitu znanja je znatno bolji od učenika komparabilne skupine (M_{MK}=13,14). Primjenom t-testa je utvrđena statistički značajna razlika u postignućima učenika tretmanske i komparabilne skupine u završnom ispitu znanja (t=2,986; p=0,003).

Zaključujemo da je t-testom dokazano da su ne samo učenice, već i učenici tretmanske skupine značajno bolji u završnom ispitu znanja.

4.6. Usporedba rezultata i pogrešnih shvaćanja tretmanske i komparabilne skupine u pojedinačnim zadatcima preliminarnog ispita znanja

Preliminarni ispit znanja se sastojao od pet čestica (Prilog 4). Čestice 1A, 1B, 2 i 3 su dvodijelni zadatci višestrukog izbora. U zadatku 4 koji je otvorenog tipa od učenika se tražilo crtanje čestica reaktanata i produkata kemijske reakcije na temelju opisa jedinične promjene jednadžbom kemijske reakcije. U okviru analize pogrešnih shvaćanja razmatrani su opisni podatci izabranih odgovora u zadatku, a obrazloženja izbora pojedinog odgovora su svrstana u pojedine kategorije (Dhindsa i Treagust, 2009; Gilbert, 1977). Rješenja i bodovanje završnog ispita znanja detaljno je opisano u Prilogu 6.

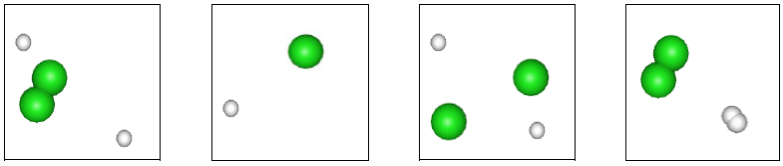
Dalje u tekstu slijede tablice s osnovnim opisnim podatcima (frekvencije odgovora, postotci, *M* i *SD*) i analizom obrazloženja učeničkih odgovora, usporedno za tretmansku i komparabilnu skupinu. Potom slijedi analiza pojedinačnih čestica, usporedno za tretmansku i komparabilnu skupinu.

Zadatak 1

Reakcijom vodika i klora nastaje klorovodik. Opisana promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije: **$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2\ HCl(g)$**

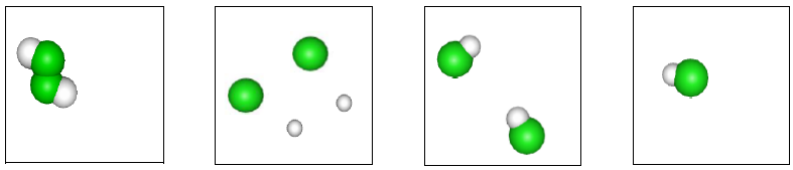
Legenda: ○ model atoma vodika ● model atoma klora

1A Koji čestični crtež ispravno prikazuje **reaktante** u gore navedenoj jednadžbi kemijske reakcije? Zaokruži slovo uz točan crtež.



Obrazloži svoj izbor. _____.

1B Koji čestični crtež ispravno prikazuje **produkte** u gore navedenoj jednadžbi kemijske reakcije? Zaokruži slovo uz točan crtež.



Obrazloži svoj izbor. _____.

Zadatak 1A

U zadatku 1A učenici su trebali prepoznati čestični crtež koji prikazuje reaktante u kemijskoj reakciji sinteze klorovodika iz elementarnih tvari opisanoj jednadžbom kemijske reakcije. Broj čestica u reakcijskom sustavu[3] koji prikazuje čestični crtež jednak je broju čestica u jednadžbi kemijske reakcije. Raspodjela odgovora u ovoj čestici prikazana je tablično (Tablica 4.5).

χ^2 testom utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=8{,}005$; $p=0{,}156$). Netočni odgovori A, B i C upućuju na nerazumijevanje značenja pojmova atom, molekula, stehiometrijski broj i

[3] Reakcijski sustav prikazan čestičnim crtežom predstavlja samo vrstu i brojevni odnos jedinki u realnom sustavu

indeks, što je opisano i u nedavnim istraživanjima (Kern i sur., 2010; Nyachwaya i sur., 2011; Nyachwaya i sur., 2013; Yitbarek, 2011).

Tablica 4.5. Raspodjela odgovora u zadatku 1A preliminarnog ispita znanja

Skupina	**N**	**Broj (%) odgovora**					χ^2	***p***
		A	B	C	**D**	Bez odgovora		
K	298	11(3,7)	24(8,1)	33(11,1)	**224(75,1)**	6(2,0)		
							8,005	0,156
T	283	5(1,8)	20(7,1)	31(10,9)	**212(74,9)**	15(5,3)		

Crtež A prikazuje točan broj atoma reaktanata, ali je netočno prikazan simbolički zapis H_2. Crtež B ne poštuje zakon o očuvanju mase i netočno prikazuje molekule elementarnih tvari, a crtež C prikazuje točan broj atoma reaktanata, ali nije u skladu sa simboličkim zapisom jednadžbe kemijske reakcije u kojoj su reaktanti molekule elementarnih tvari. Neprimjenjivanje zakona o očuvanju mase iskazalo je 7,6 % učenika tretmanske i komparabilne skupine.

Na osnovu frekvencije biranja točnog odgovora (*f*) u ovom zadatku, možemo zaključiti da učenici komparabilne skupine posjeduju zadovoljavajuće konceptualno razumijevanje (*f*>75 %), dok je u tretmanskoj skupini taj postotak neznatno niži.

Postotak biranja distraktora u ovoj čestici za sve ponuđene odgovore manji je od 20 %, što ukazuje na nepostojanje pogrešnih shvaćanja.

U Tablici 4.6 analizirana su obrazloženja odabranih odgovora. Postotak neobrazlaganja izbora crteža iznimno je visok za obje skupine. Razlog za to vjerojatno je činjenica da zadatci višestrukog izbora u testovima provjere znanja koji se primjenjuju u nastavnoj praksi ne zahtijevaju dodatna obrazloženja. Devetak i sur. (2009) predlažu korištenje dvodijelnih zadataka višestrukog izbora u nastavi kemije kako bi učenici naučili izraziti svoja mišljenja na znanstveno prihvatljiv način, a nastavnici dobili uvid u razumijevanje nastavnih sadržaja.

Na temelju ponuđenih obrazloženja možemo uočiti da učenici imaju najviše poteškoća s nerazlikovanjem pojmova atom i molekula. Uzevši u obzir obrazloženja na sve ponuđene crteže ustanovili smo da 15,2 % učenika tretmanske skupine i 14,8 % učenika komparabilne skupine ne razlikuju koncept atoma kemijskog elementa i molekule elementarne tvari. Poteškoće su prisutne i u razlikovanju indeksa i stehiometrijskog broja i to kod 6,6 % učenika tretmanske skupine i 9,4 % učenika komparabilne skupine.

Tablica 4.6. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatku 1A preliminarnog ispita znanja

Odgovor	Pogrešna shvaćanja	Broj (%) odgovora	
		K	T
A	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	7(2,4)	3(1,1)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini (*vodik i klor imaju dva atoma*)	1(0,3)	1(0,4)
B	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	15(5,0)	13(4,6)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj klorovodik je nazvan vodikovim kloridom*)	1(0,3)	0(0,0)
	Izjednačavanje broja atoma s valencijom (*jedan atom je jednovalentan atom, dva atoma su dvovalentani atomi*)	1(0,3)	1(0,4)
C	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	12(4,0)	9(3,2)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	13(4,4)	11(3,8)
	Izjednačavanje indeksa s valencijom (*molekula H_2 je dvovalentan vodik*)	1(0,3)	0(0,0)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini (*reagiraju vodik i klor)*	1(0,3)	0(0,0)
D	**Točan odgovor**	**143(48,0)**	**134(47,4)**
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	10(3,4)	18(6,3)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	15(5,0)	8(2,8)
	Nerazlikovanje pojmova reaktant i produkt	0(0,0)	1(0,4)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini		
	dva vodika i dva klora	2(0,7)	2(0,7)
	vodik i klor imaju dva atoma	1(0,3)	2(0,7)
	spajaju se dva klorovodika	1(0,3)	2(0,7)
	Nečitki i nerazumljivi odgovori	25(8,5)	22(7,7)
	Bez odgovora	49(16,5)	56(19,8)

Zadatak 1B

Prvi dio dvodijelnog zadatka višestrukog izbora odnosio se na prepoznavanje molekula produkta u kemijskoj reakciji sinteze klorovodika iz elementarnih tvari opisanoj jednadžbom kemijske reakcije.

Distraktor A prikazuje aglomerat H_2Cl_2 nastao spajanjem dvije molekule HCl. Sklonost učenika ovakvom prikazivanju sudionika kemijske reakcije uočena je u prethodno provedenim istraživanjima u kojima su korišteni slični konceptualni zadatci. Davidowitz i sur., (2010) u svom radu izvijestili su da 12,8 % srednjoškolskih učenika prikazuje molekule vode u obliku aglomerata (H_4O_2 umjesto H_2O), a Yarroch (1985) navodi primjer u kojemu su srednjoškolci prikazali molekule amonijaka u obliku nakupina (N_2H_6 umjesto NH_3).

Odgovor B nudi prikaz produkta u atomarnom obliku i upućuje na nerazumijevanje značenja pojma molekula kemijskog spoja.

Odgovor D prikazuje jednu molekulu klorovodika umjesto dvije što nije u skladu sa zakonom o očuvanju mase za razmatranu jednadžbu kemijske reakcije. Također, ovaj izbor upućuje i na nerazumijevanje značenja pojma stehiometrijski broj.

χ^2 testom je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=8,261$; $p=0,220$).

Učenici obje skupine su u velikom postotku točno odgovorili i na ovo pitanje, pa možemo reći da u obje skupine postoji zadovoljavajuće konceptualno razumijevanje sadržaja (Tablica 4.7).

Pogrešno shvaćanje prepoznato je kod učenika komparabilne skupine koji su u visokom postotku birali distraktor A.

Tablica 4.7. Raspodjela odgovora u zadatku 1B preliminarnog ispita znanja

Skupina	**N**	**Broj (%) odgovora**					χ^2	***p***
		A	B	**C**	D	Bez odgovora		
K	298	69(23,1)	12(4,0)	**181(60,8)**	20(6,7)	16(5,4)	8,261	0,220
T	283	53(18,7)	20(7,1)	**179(63,3)**	12(4,2)	19(6,7)		

Analizom učeničkih obrazloženja utvrđeno je da 15,9 % učenika tretmanske skupine i 16,8 % učenika komparabilne skupine ne razlikuje pojam atom i molekula (Tablica 4.8).

Slično rezultatima u prethodnoj čestici, 7,1 % učenika tretmanske skupine i 4,7 % učenika komparabilne skupine ne razlikuje pojmove indeks i stehiometrijski broj.

Tablica 4.8. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatku 1B preliminarnog ispita znanja

Odgovor	**Pogrešno shvaćanje**	**Broj (%) odgovora**	
		K	**T**
A	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	16(5,4)	17(6,0)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	11(3,7)	14(4,9)
	Primjenjen zakon o očuvanju mase, ali ne i stehiometrijski broj produkta	19(6,4)	14(4,9)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini (*dobili smo dva klorovodika,*	0(0,0)	1(0,4)
	spojeni klorovodik)	1(0,3)	0(0,0)
B	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	9(3,0)	8(2,8)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	0(0,0)	3(1,1)

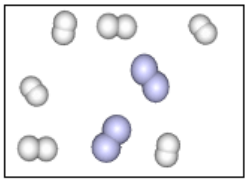
C	**Točan odgovor**	**125(41,9)**	**121(42,7)**
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	24(8,1)	17(6,0)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	3(1,0)	2(0,7)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj klorovodik nazvan je:*		
	vodikov klorid	2(0,7)	3(1,1)
	formulska jedinka klorovodika,	2(0,7)	2(0,7)
	kemijska jedinka klora i vodika)	1(0,3)	0(0,0)
	Atomi klora i vodika su jednovalentni pa stoga nastaju molekule klorovodika	2(0,7)	1(0,4)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini (*molekula građena od vodika i klora)*	1(0,3))	0(0,0)
D	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	1(0,3)	3(1,1)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	0(0,0)	1(0,4)
	Nečitki i nerazumljivi odgovori	11(3,7)	17(6,0)
	Bez odgovora	70(23,5)	59(20,8)

Zadatak 2

U drugom zadatku učenici su trebali povezati čestični crtež reakcijskog sustava prije reakcije sa simboličkim zapisom jedinične pretvorbe i prepoznati čestični prikaz reakcijskog sustava nakon promjene.

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

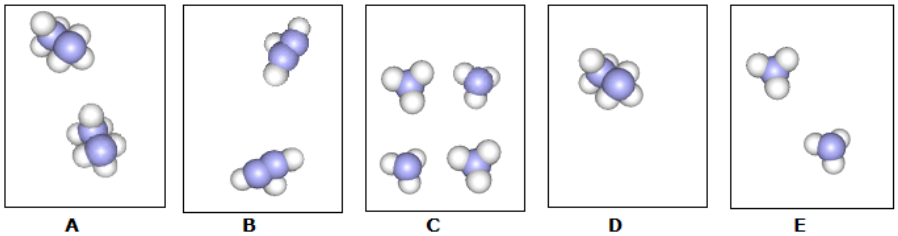
Legenda: model atoma dušika model atoma vodika



Pretpostavi da su prikazane tvari u potpunosti reagirale u promjeni opisanoj jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightarrow 2\ NH_3(g)}$$

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



Obrazloži svoj izbor. _____.

Reakcijski sustav prije reakcije brojio je dvostruko više molekula reaktanata nego je to zapisano u jednadžbi kemijske reakcije. Kao i u prethodnom, tako i u ovom zadatku učenici trebaju razumjeti značenje stehiometrijskog broja, indeksa te poznavati zakon o očuvanju mase.

χ^2 testom je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=12{,}087$; $p=0{,}057$).

Uočljiv je vrlo slab učinak u obje skupine što ukazuje na konceptualno nerazumijevanje sadržaja (Tablica 4.9).

Tablica 4.9. Raspodjela odgovora u zadatku 2 preliminarnog ispita znanja

Skupina	**N**	**Broj (%) odgovora**						χ^2	***p***
		A	B	**C**	D	E	Bez odgovora		
K	298	77(25,8)	40(13,4)	**42(14,1)**	21(7,1)	107(35,9)	11(3,7)	12,087	0,057
T	283	63(22,3)	18(6,3)	**54(19,1)**	13(4,6)	112(39,6)	23(8,1)		

Štoviše, veliki broj ispitanika u obje skupine (f>20 %) izabrao je distraktore A i E, pa ih možemo smatrati pogrešnim shvaćanjima. Izbor odgovora A, B i E, koji prikazuju dvije molekule produkta kao u jednadžbi kemijske reakcije, ukazuje na učeničko nerazumijevanje značenja zapisa jednadžbe kemijske reakcije kao jedinične pretvorbe koja se u reakcijskom sustavu dogodi mnogo puta. Najviše učenika izabralo je odgovor E, vodeći se brojem molekula nastalog produkta u zapisu jednadžbe kemijske reakcije, a ne „brojem čestica u reakcijskom sustavu“ koje su mogle reagirati. U odgovor D uključen je obrazac učeničkog razmišljanja sukladan odgovoru E s dodatnim nerazumijevanjem značenja stehiometrijskog broja u jednadžbi kemijske reakcije. Iako odgovor D prikazuje nepostojeću česticu N_2H_6, izabralo ga je ukupno 10,1 % učenika. Isti obrazac razmišljanja je opažen u istraživanju Yarrocha (1985) u kojem je više od polovine učenika netočno čestičnim crtežom prikazalo sintezu amonijaka pri čemu su dvije molekule amonijaka (2 NH_3) grupirali u jednu česticu, N_2H_6. Novijim istraživanjem Davidowitz i sur. (2010), utvrđeno je u sličnom konceptualnom zadatku da 19 % studenata prve godine prirodnih znanosti čini jednaku pogrešku. Izbor odgovora B, D i E upućuje da ukupno 53,5 % učenika obje skupine ne zna primijeniti zakon o očuvanju mase.

Učenička obrazloženja u skladu su s izborom odgovora (Tablica 4.10). Naime, obrazloženja potvrđuju nerazumijevanje razlike između jednadžbe kemijske reakcije i reakcijskog sustava. Čak 47,5 % obrazloženja učenika tretmanske skupine i 43,1 % obrazloženja učenika komparabilne skupine upućuje na ovo pogrešno shvaćanje. Kao i u prethodnim ispitnim česticama, prisutne su poteškoće u razlikovanju pojmova atom i molekula te indeks i stehiometrijski broj u obje skupine.

Tablica 4.10. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatku 2 preliminarnog ispita znanja

Odgovor	Pogrešno shvaćanje	**Broj (%) odgovora**	
		K	**T**
A	Nerazlikovanje JKR[4] i reakcijskog sustava (*broj molekula produkta odgovara broju molekula produkta u JKR*)	38(12,8)	43(15,2)
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	6(2,0)	9(3,2)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	8(2,7)	5(1,8)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj amonijak je nazvan dušikovim vodikom)*	0(0,0)	1(0,4)
B	Nerazlikovanje JKR i reakcijskog sustava (*broj molekula produkta odgovara broju molekula produkta u JKR*)	11(3,7)	16(5,7)
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	9(3,1)	6(2,1)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	1(0,3)	2(0,7)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj amonijak nazvan je:*		
	dušikov vodik,	1(0,3)	2(0,7)
	dušikov nitrid,	1(0,3)	0(0,0)
	formulska jedinka,	1(0,3)	1(0,3)
	dušična kiselina)	0(0,0)	1(0,3)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini (*molekula građena od dva dušika i tri vodika, dva amonijaka)*	3(1,0)	2(0,7)
C	**Točan odgovor**	**22(7,4)**	**17(6,0)**
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	7(2,4)	5(1,8)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj amonijak nazvan je:*		
	metan,	0(0,0)	1(0,3)
	vodikov dušik)	1(0,3)	0(0,0)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	1(0,3)	0(0,0)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini *(dvanaest vodika)*	1(0,3)	0(0,0)
D	Nerazlikovanje JKR i reakcijskog sustava (*broj atoma vodika i dušika u molekuli produkta odgovara broju atoma vodika i dušika u produktu JKR, ali ne i u reakcijskom sustavu*)	8(2,7)	7(2,5)
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	1(0,3)	0(0,0)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini *(dva dušika i šest vodika)*	2(0,7)	3(1,1)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj amonijak nazvan je:*		
	dušikov(III) vodik,	2(0,7)	0(0,0)
	natrijev nitrid)	0(0,0)	1(0,3)

[4] JKR-jednadžba kemijske reakcije

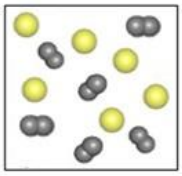
E	Nerazlikovanje JKR i reakcijskog sustava (*broj molekula produkta odgovara broju molekula produkta u JKR*)	71(23,9)	68(24,1)
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	13(4,4)	9(3,2)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	2(0,7)	8(2,8)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj amonijak nazvan je:*		
	dušikov vodik,	0(0,0)	2(0,7)
	metan,	1(0,3)	0(0,0)
	dušikov(III) oksid)	1(0,3)	0(0,0)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini (*u molekuli su spojeni dušik i vodik*	1(0,3)	0(0,0)
	nastao je amonijak	1(0,3)	0(0,0)
	jedan dušik u svakom spoju)	1(0,3)	0(0,0)
	Nečitki i nerazumljivi odgovori	16(5,4)	13(4,6)
	Bez odgovora	67(22,5)	63(22,3)

Zadatak 3

Zadatak 3 je preuzet iz testa Mulforda i Robinsona (2002) i propitkuje koncept mjerodavnog reaktanta. Iako ovaj koncept nije obuhvaćen nastavnim programom osnovne škole, očekuje se da učenici koji poimaju jednadžbu kemijske reakcije kao opis jedinične pretvorbe koja se u reakcijskom sustavu ponovi mnogo puta uspješno riješe ovaj zadatak.

Čestični crtež prikazuje **reaktante**, S i O_2 u zatvorenoj posudi.

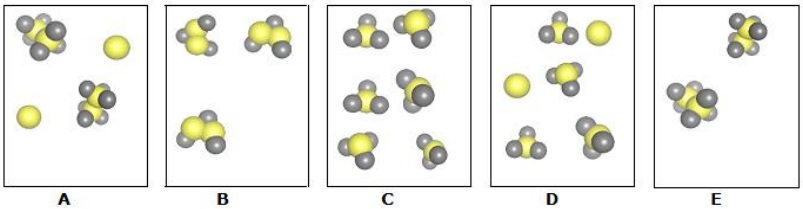
Legenda: model atoma sumpora model atoma kisika



Pretpostavi da su prikazane tvari u potpunosti reagirale u promjeni opisanoj jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{2\ S + 3\ O_2 \rightarrow 2\ SO_3}$$

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



Obrazloži svoj izbor. _____.

I u ovom zadatku, χ^2 testom je utvrđeno nepostojanje statistički značajne razlike u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=11,960$; $p=0,06$).

Tablica 4.11. Raspodjela odgovora u zadatku 3 preliminarnog ispita znanja

Skupina	N	Broj (%) odgovora							
		A	B	C	**D**	E	Bez odgovora	χ^2	*p*
K	298	40(13,4)	22(7,4)	48(16,1)	**50(16,8)**	118(39,6)	20(6,7)	11,960	0,06
T	283	32(11,3)	34(12,0)	39(13,8)	**46(16,2)**	97(34,3)	35(12,4)		

Kao i u drugom zadatku, frekvencija biranja točnog odgovora D (16,5 %) upućuje na konceptualno nerazumijevanje sadržaja (Tablica 4.11).

Novija obrazovna istraživanja potvrđuju da početno nerazumijevanje koncepta jednadžbe kemijske reakcije koji uključuje i pojam mjerodavnog reaktanta najčešće ne bude uklonjeno ni na višim obrazovnim razinama.

U sličnom zadatku Nurrenbern i Pickering (1987) utvrdili su 29 % točnih odgovora studenata.

Rezultati sljedećih istraživanja potvrđuju učinkovitost kvazieksperimentalnog tretmana, odnosno, strategija poučavanja provedenih između preliminarnog i završnog testa. Ispitanici su uspješnije riješili zadatak sličan zadatku 3 u završnom testu što ukazuje na napredak u razumijevanju koncepta mjerodavnog reaktanta.

U istraživanju Mulforda i Robinsona (2002), 11,0 % studenata biralo je točan odgovor u preliminarnom ispitu znanja, a 20,0 % u završnom ispitu znanja. Slično navedenom, Wood i Breyfogle (2006) utvrdili su 10,3 % točnih odgovora u preliminarnom ispitu znanja i 20,7 % točnih odgovora u završnom ispitu znanja. U najnovijem istraživanju, Kimberlin i Yezierski (2016) su izvijestili da je 14,1 % studenata odabralo točan odgovor u preliminarnom ispitu znanja, odnosno, 35,9 % u završnom ispitu znanja.

Odgovori A i E uključuju prikaz dvije molekule produkta (nepostojeće jedinke S_2O_6 kao sinonim za kemijski zapis 2 SO_3) što odgovara stehiometrijskom broju 2 u jednadžbi kemijske reakcije i presudan je čimbenik za visoku učestalost odabira ovih odgovora. Ovi rezultati su u skladu s istraživanjem Mulforda i Robinsona (2002) u kojem je 60,0 % studenata biralo ovaj prikaz molekula produkta. Ni rezultati istraživanja Kimberlin i Yezierski (2016)

znatnije ne odstupaju od rezultata ovog istraživanja, jer je 53,1 % studenata izabralo prikaz molekula kao S_2O_6. Učenici pokušavaju povezati simbolički zapis i čestični crtež reakcijskog sustava koristeći pogrešne algoritme.

Na temelju učestalosti odabira odgovora A i E u zadatku 2 i u zadatku 3 može se prepoznati istovrstan obrazac pogrešnog shvaćanja dijelova koncepta kao što su: (i) stehiometrijski broj, (ii) indeks u kemijskoj formuli i (iii) zapis jednadžbe kemijske reakcije kao jedinične pretvorbe u reakcijskom sustavu. Podudarnost frekvencije biranja odgovora 2E i 3E navodi na zaključak da gotovo jedna trećina učenika ne razumije navod (iii). Samo na temelju učestalosti odgovora 3E ovo se ne bi moglo pretpostaviti, jer on ne isključuje mogućnost da učenici imaju problem jedino s navodima (i) i (ii), što bi se moglo reći za učenike koji su birali odgovor 2A i 3A. Učenici koji su izabrali odgovor 3A uočili su i da je sumpor reaktant u suvišku.

Učenici su u najmanjem postotku birali distraktor B čiji prikaz molekula produkta 3 S_2O_3 upućuje na nerazumijevanje razlike između stehiometrijskog broja i indeksa. Mulford i Robinson (2002) su izvijestili da je 14 % studenata odabralo ovaj odgovor.

Viši je postotak odgovora C koji predstavlja točan prikaz molekula produkta SO_3, ali ne uzima u obzir da je kisik mjerodavni reaktant, a sumpor reaktant u suvišku.

Visoki postotak učenika (61,6 %) obje skupine izabralo je odgovore B, C i E u kojima se ne primjenjuje zakon o očuvanju mase u reakcijskom sustavu. U istraživanju Mulforda i Robinsona (2002), 65,0 % učenika je u preliminarnom ispitu znanja izabralo odgovore u kojima se ne primjenjuje zakon o očuvanju mase te 61,0 % u završnom ispitu znanja što se slaže s rezultatima ovog istraživanja.

U odnosu na prethodne zadatke, u ovom zadatku najviše učenika nije obrazložilo izbor crteža (Tablica 4.12).

Najviše netočnih obrazloženja odnosi se na nerazlikovanje jednadžbe kemijske reakcije i reakcijskog sustava. Analizom obrazloženja je utvrđeno da 25,7 % učenika tretmanske skupine i 22,5 % učenika komparabilne skupine posjeduje ovo pogrešno shvaćanje.

Također je uočeno da gotovo 20 % učenika obiju skupina pogrešno upotrebljava pojmove atom i molekula.

Tablica 4.12. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatku 3 preliminarnog ispita znanja

Odgovor	Pogrešno shvaćanje	Broj (%) odgovora	
		K	T
A	Nerazlikovanje JKR i reakcijskog sustava (*broj molekula produkta odgovara broju molekula produkta u JKR*)	15(5,0)	12(4,2)
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	3(1,0)	2(0,7)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	2(0,7)	3(1,1)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*elementarna tvar sumporov(IV) oksid)*	0(0,0)	1(0,4)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini *(sumpor i i kisik su spojeni)*	1(0,3)	0(0,0)
B	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	12(4,0)	11(4,0)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	2(0,7)	4(1,4)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj sumporov(VI) oksid nazvan je sumporovim oksidom*)	1(0,3)	1(0,4)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini		
	(nastaju tri sumporova trioksida	1(0,3)	1(0,4)
	spajaju se tri kisika i dva sumpora	1(0,3)	0(0,0)
	molekula se sastoji od jednog sumpora i tri kisika)	0(0,0)	1(0,4)
C	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	25(8,4)	17(6,0)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj sumporov(VI) oksid nazvan je:*		
	sumporov oksid,	2(0,7)	2(0,7)
	formulska jedinka sumporova(VI) oksida)	2(0,7)	0(0,0)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini		
	(jedan sumpor i tri kisika,	2(0,7)	4(1,4)
	jedan sumpor i šest kisika)	1(0,3)	0(0,0)
D	**Točan odgovor**	**32(10,8)**	**28(9,8)**
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	2(0,7)	4(1,4)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj sumporov(VI) oksid nazvan je metan*)	0(0,0)	1(0,4)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini		
	(*nastane šest sumpora i dvanaest kisika,*	0(0,0)	1(0,4)
	dva sumpora i dvanaest kisika)	1(0,3)	0(0,0)
E	Nerazlikovanje JKR i reakcijskog sustava (*broj molekula produkta odgovara broju molekula produkta u JKR*)	52(17,5)	61(21,5)
	Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	17(5,7)	21(7,4)
	Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	8(2,7)	4(1,4)
	Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj sumporov(VI) oksid nazvan je:*		
	sumporov oksid,	1(0,3)	2(0,7)
	sumporovodik,	0(0,0)	2(0,7)
	sumporov(III) oksid)	0(0,0)	1(0,4)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini		
	(dva sumporova trioksida,	1(0,3)	0(0,0)
	šest kisika i četiri sumpora)	0(0,0)	1(0,4)
	Nečitki i nerazumljivi odgovori	18(6,1)	15(5,3)
	Bez odgovora	96(32,2)	83(29,3)

Zadatak 4

Zadatak 4 se razlikuje od prethodnih, jer traži od učenika da nacrtaju reaktante i produkte kemijske reakcije prema zadanoj jednadžbi kemijske reakcije. Učenički crtež daje širi uvid u razumijevanje čestične građe tvari od zadatka višestrukog izbora.

Gorenjem tvari koja sadrži ugljik uz nedovoljan pristup zraka nastaje otrovni plin ugljikov monoksid, CO. Zapaljen gori, pri čemu nastaje ugljikov dioksid, CO_2. Opisana promjena može se prikazati sljedećom jednadžbom kemijske reakcije :

$$\mathbf{2\ CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g)}$$

Legenda: model atoma ugljika model atoma kisika

Rabeći čestični prikaz u prazne pravokutnike ucrtaj **reaktante** i **produkte** prema gore napisanoj jednadžbi kemijske reakcije.



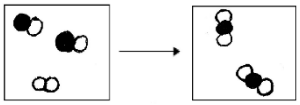
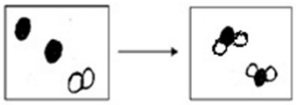
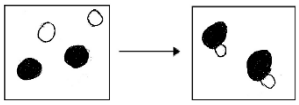
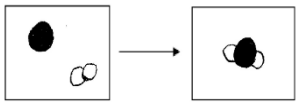
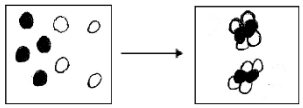
Obrazloži svoj crtež. _____.

Ni u ovom zadatku Mann-Whitney U testom nije utvrđena statistički značajna razlika u rezultatima tretmanske i komparabilne skupine (U=41582,000; p=0,552).

Najčešći netočan odgovor je prikaz ugljikova atoma umjesto prikaza molekula CO (Tablica 4.13).

Iako je većina neuspješnih učenika nacrtala crtež u skladu sa zakonom o očuvanju mase, pokazalo se da nisu sposobni tumačiti značenje stehiometrijskog broja i indeksa kako bi nacrtali molekule kisika, ugljikova(II) oksida i ugljikova(IV) oksida. Također, 2,7 % crteža sadrži agregate C_2O_4 umjesto 2 CO_2, što je u skladu s rezultatima prethodno provedenih srodnih istraživanja (Davidowitz i sur., 2010; Yarroch 1985). Hinton i Nakhleh (1999) uočavaju da studenti kemije algoritamski izjednačavaju jednadžbu kemjske reakcije pri čemu se ne uspostavlja veza između značenja simbola u jednadžbi kemijske reakcije i čestičnog crteža koji prikazuje tu kemijsku reakciju.

Tablica 4.13. Analiza učeničkih crteža u zadatku 4 preliminarnog ispita znanja

Učenički odgovor	**Čestični crtež**	**Broj (%) odgovora**	
		K	**T**
$2\ CO + O_2 \rightarrow 2\ CO_2$		73(24,5)	80(28,3)
$2\ C + O_2 \rightarrow 2\ CO_2$		32(10,7)	19(6,7)
$2\ C + 2\ O \rightarrow 2\ CO$		24(8,1)	11(3,9)
$C + O_2 \rightarrow CO_2$		12(4,0)	16(5,6)
$4\ C + 4\ O \rightarrow 2\ C_2O_4$		5(1,7)	11(3,9)
ostali netočni odgovori		45(15,1)	41(14,5)
nečitki odgovori; bez odgovora		107(35,9)	105(37,1)

Tablica 4.14. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatku 4 preliminarnog ispita znanja

Pogrešno shvaćanje	**Broj (%) odgovora**	
	K	**T**
Točan odgovor	**58(19,5)**	**53(18,7)**
Nerazlikovanje pojmova atom i molekula	86(28,9)	67(23,7)
Netočna uporaba kemijskog nazivlja (*kemijski spoj ugljikov dioksid je nazvan*:		
ugljikovim monoksidom	2(0,7)	1(0,4)
ugljikovim oksidom)	5(1,7)	4(1,4)
kemijski spoj ugljikov monoksid je nazvan:		
ugljikovim dioksidom	6(2,0)	8(2,8)
ugljikom	6(2,0)	10(3,6)
Nerazlikovanje pojmova indeks i stehiometrijski broj	6(2,0)	8(2,8)
Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini		
(*ugljikov monoksid umjesto molekule ugljikova monoksida,*	9(3,0)	6(2,1)
ugljikov dioksid umjesto molekule ugljikova dioksida	5(1,7)	6(2,1)
kisik umjesto molekule kisika)	2(0,7)	5(1,8)
Nečitki i nerazumljivi odgovori	37(12,4)	33(11,7)
Bez odgovora	76(25,5)	82(29,0)

Analizom učeničkih obrazloženja potvrđeno je da se netočni odgovori najviše odnose na nerazlikovanje pojmova elementarne tvari i kemijskog spoja (Tablica 4.14).

Kern i sur. (2010) predložili su zadatak otvorenog tipa u kojemu su studenti crtali reaktante i produkte reakcije sagorijevanja metana bez prijedloga simbola za pojedine čestice. Rezultati su pokazali da iako je 65,3 % studenata točno izjednačilo jednadžbu kemijske reakcije, a samo 31,1 % studenata je sposobno crtežom prikazati kemijsku reakciju na čestičnoj razini.

4.7. Usporedba rezultata i pogrešnih shvaćanja tretmanske i komparabilne skupine u pojedinačnim zadatcima završnog ispita znanja

Završni ispit znanja sastojao se od trinaest zadataka, odnosno dvadeset četiri čestice (vidi Prilog 5). Test sadrži zadatke otvorenog tipa, zadatke višestrukog izbora, dvodijelne zadatke višestrukog izbora i zadatke povezivanja.

U zadatcima otvorenog tipa 1 i 4 od učenika se tražilo crtanje čestica produkata kemijske reakcije, a u zadatku 5 svih sudionika reakcije, na temelju opisa jedinične promjene jednadžbom kemijske reakcije. Zadatci 2, 3 i 6 su također zadatci otvorenog tipa. Zadatci 8 i 10 su zadatci višestrukog izbora, a zadatci 9, 12 i 13 su dvodijelni zadatci višestrukog izbora. U prvom dijelu dvodijelnih zadatka višestrukog izbora provjeravalo se razumijevanje koncepta kiselosti otopine i neutralizacije na čestičnoj razini. U drugom dijelu navedenih zadataka učenici su obrazlagali svoj odgovor ili izabrani čestični crtež prikazivali simbolički, kemijskom formulom ili jednadžbom kemijske reakcije. U zadatcima povezivanja 7 i 11 od učenika se tražilo da povežu čestični crtež sa simboličkim zapisom (kemijskom formulom).

Rješenja i bodovanje završnog ispita znanja detaljno je opisano u Prilogu 7.

Zadatak 1

Prvi zadatak od učenika je zahtijevao crtanje produkata prema zadanom reakcijskom sustavu. Provjeravao je sposobnost učenika da čestičnim crtežom prikaže kemijsku reakciju na submikroskopskoj razini.

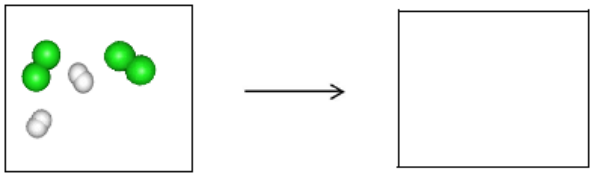
Broj prikazanih molekula reaktanata u reakcijskom sustavu dvostruko je veći u odnosu na zapis jednadžbe kemijske reakcije.

Usporedbom rezultata komparabilne i tretmanske skupine u zadatku 2 (preliminarnog ispita znanja) i zadatku 1 (završnog ispita znanja) uočavamo da su obje skupine uspješnije u rješavanju zadatka 1 završnog ispita znanja.

Reakcijom vodika i klora nastaje klorovodik. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije: **$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2\ HCl(g)$**

Legenda: model molekule vodika model molekule klora

Rabeći čestični crtež u prazan pravokutnik ucrtaj točan broj molekula produkta uz pretpostavku da su tvari u reakcijskom sustavu potpuno reagirale.



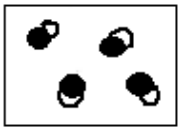
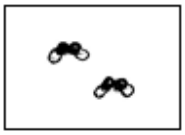
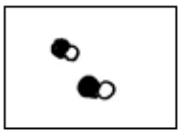
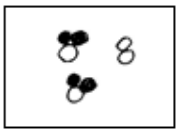
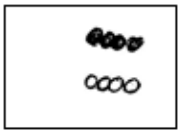
T-testom je utvrđeno postojanje statistički značajne razlike u omjeru odgovora između tretmanske skupine (M_T =1,21, SD_T=0,93) i komparabilne skupine (M_K=0,73, SD_K=0,88, t=6,453; df =579; p=0,000), odnosno da je tretmanska skupina statistički značajno bolja. Vrijednost Cohen' s d iznosi 0,53 i predstavlja umjeren učinak. Visoki postotak točnih odgovora učenika tretmanske skupine upućuje na konceptualnu promjenu u razumijevanju razlike između reakcijskog sustava i jednadžbe kemijske reakcije. Analizom odgovora uočeni su različiti obrasci pogrešnog shvaćanja pojma jednadžba kemijske reakcije, a najučestaliji su prikazani u Tablici 4.15.

Najčešći je pogrešan prikaz molekula klorovodika nastao vezanjem atoma vodika na molekule klora (2 H_2Cl_2). Prikaz produkta u obliku agregata opisan je u prethodno provedenim istraživanjima (Davidowitz i sur., 2010; Yarroch, 1985). Slijedi prikaz u kojem broj molekula odgovara jednadžbi kemijske reakcije (jediničnoj pretvorbi), ali ne i reakcijskom sustavu, iz čega slijedi neprimjenjivanje zakona o očuvanju mase (2 HCl). Pogrešan prikaz molekula klorovodika, pri čemu nije poštovan zakon o očuvanju mase, prisutan je i u čestičnom crtežu kojemu odgovara simbolički prikaz 5 H_2Cl. Simbolički prikaz 2 HCl_2 + H_2 također pogrešno prikazuje molekule klorovodika, a nastali produkti su kemijski spoj i elementarna tvar. Iako broj atoma vodika i klora odgovara broju čestica u reakcijskom sustavu, simbolički prikaz H_4 + Cl_4 predstavlja produkt nastao udruživanjem atoma iste elementarne tvari, a ne nastanak kemijskog spoja.

Već smo ranije u preliminarnom ispitu znanja utvrdili, temeljem kvantitativnih i kvalitativnih podataka da učenici ne razumiju razliku između reakcijskog sustava i jednadžbe kemijske reakcije. Učenici najčešće poistovjećuju ova dva koncepta te broj čestica reaktanata i

produkata na čestičnom crtežu crtaju prema broju čestica u simboličkom zapisu. Tijekom poučavanja u tretmanskoj skupini naglašavala se razlika između reakcijskog sustava i jednadžbe kemijske reakcije.

Tablica 4.15. Analiza učeničkih crteža u zadatku 1 završnog ispita znanja

Učenički odgovor	**Čestični crtež**	**Broj (%) odgovora**	
		K	**T**
4 HCl		83(27,9)	158(55,8)
2 H_2Cl_2		26(8,7)	19(6,7)
2 HCl		21(7,1)	10(3,5)
5 H_2Cl		20(6,7)	10(3,5)
2 HCl_2 + H_2		8(2,7)	4(1,4)
H_4 + Cl_4		5(1,7)	3(1,1)
ostali netočni odgovori		15(5,0)	8(2,9)
nečitki odgovori; bez odgovora		120(40,2)	71(25,1)

U polustrukturiranom intervjuu referirali smo se na prvi zadatak preliminarnog ispita znanja kako bismo utvrdili da li učenici razlikuju koncept jednadžbe kemijske reakcije i reakcijskog sustava. Od učenika smo tražili da usporede broj čestica reaktanata i produkata u jednadžbi kemijske reakcije i reakcijskom sustavu:

- Josip primjećuje da je broj molekula u reakcijskom sustavu veći no ne zna uspostaviti odnos broja molekula u jednadžbi kemijske reakcije i reakcijskom sustavu.
  Tamara smatra da je jednadžba kemijske reakcije „skraćeni" reakcijski sustav.
- Helena isprva misli da je broj čestica u jednadžbi kemijske reakcije i reakcijskom sustavu jednak no prebrojavanjem čestica uočava razliku. Ona zna da se jednadžba kemijske reakcije definira kao najmanji omjer reaktanata i produkata koji sudjeluju u kemijskoj reakciji, ali ne uspostavlja vezu između broja čestica u jednadžbi kemijske reakcije i reakcijskog sustava.
- Toma uspijeva uspostaviti odnos broja čestica u jednadžbi kemijske reakcije i reakcijskom sustavu.

I: Koliki je broj čestica u jednadžbi kemijske reakcije?
Toma: Jednadžba kemijske reakcije prikazuje broj čestica…najmanji mogući omjer čestica.
I: Koliki je broj čestica u reakcijskom sustavu?
Toma: Trebao bi prikazati sve čestice, a prikazuje samo jedan dio u istom omjeru kao u jednadžbi kemijske reakcije.

Slično razmišlja i Roko.

I: Postoji li razlika u broju čestica u jednadžbi kemijske reakcije i reakcijskom sustavu?
Roko: U jednadžbi kemijske reakcije je sažet broj čestica.
I: Što znači sažet broj čestica?
Roko: ….najmanji omjer…
I: Najmanji omjer čega?
Roko: Molekula.
I: Koje su to molekule?
Roko: Reaktanata i produkata.
I: Koliki je broj čestica u reakcijskom sustavu?
Roko: Onoliko koliko je stvarno reagiralo.
I: Koliko ih je prikazano na čestičnom crtežu?
Roko: Manje nego što je stvarno reagiralo, a više nego u JKR.
I: Koliki je omjer čestica reaktanata i produkata u reakcijskom sustavu?
Roko: Isti kao u jednadžbi kemijske reakcije.

Sljedeći transkript rezultat je provedene fokusne grupe u kojoj je sudjelovalo pet učenika.

I: Koja je razlika između jednadžbe kemijske reakcije i reakcijskog sustava?

Petra: U reakcijskom sustavu ima duplo više.

Marin: U sustavu reaktanti reagiraju.

I: Prikazuje li jednadžba kemijske reakcije tvari koje reagiraju?

Ivo: Da, to su reaktanti.

I: Koliki je broj čestica u reakcijskom sustavu?

Marin: U ovom primjeru duplo više.

I: U odnosu na što duplo više?

Marin: Jednadžbu kemijske reakcije.

I: Znači li to da se u reakcijskoj posudi nalaze dvije molekule vodika?

Ivo: Ja mislim da je jednadžba kemijske reakcije najmanji omjer, a u reakcijskom sustavu imamo više tvari.

I: Koliki bi onda bio broj molekula u reakcijskom sustavu neovisno o ovom prikazu?

Marin: Puno.

I: U ovom zadatku, koliko biste molekula klorovodika nacrtali u desnom pravokutniku?

Marin: Četiri.

I: Zašto baš četiri molekule?

Željana: Jer broj atoma klora i vodika mora biti isti kao u lijevom pravokutniku.

I: Ostaje li neke tvari u suvišku?

Željana: Ne, u zadatku piše da su tvari potpuno reagirale.

Prethodno navedena opažanja i izdvojeni citati ukazuju na postojanje veze između neuspješnosti rješavanja konceptualnog problema u prvom zadatku preliminarnog ispita znanja i nerazumijevanja navedenih koncepata.

U pojedinim je slučajevima, usprkos nerazumijevanju razlike između jednadžbe kemijske reakcije i reakcijskog sustava iskazanim u intervjuu, razina uspješnosti u rješavanju zadatka bila znatno viša. Uočeno se može objasniti većom sposobnosti rješavanja konkretnog kemijskog problema u odnosu na sposobnost obrazlaganja koncepata povezanih s tim kemijskim problemom.

Zadatak 2

U mitohondrijima stanica oksidacijom glukoze nastaju ugljikov(IV) oksid i voda. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g) \rightarrow 6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(l)}$$

Izračunaj broj molekula kisika potrebnih za reakciju 1 milijuna molekula glukoze. _____

Drugi zadatak je preuzet iz testa koji su osmislili Wood i Breyfogle (2006).

Broj molekula kisika točno je izračunalo 39,6 % (M=0,37, SD=0,49) učenika komparabilne skupine i 52,3 % (M=0,52, SD=0,50) učenika tretmanske skupine. T-testom je utvrđeno da je tretmanska skupina statistički značajno bolja od komparabilne (t= 3,091; df =579; p=0,002). Vrijednost Cohen' d iznosi 0,30 i budući je veća od 0,2 predstavlja skroman učinak. Navedeni rezultati lošiji su od rezultata srednjoškolskih učenika u istraživanju Wooda i Breyfogla (2006) koji su postigli 62,1 % točnih rezultata u preliminarnom ispitu znanja i 82,8 % u završnom ispitu znanja.

Zadatak 3

Oksidacijom kalcija nastaje kalcijev oksid. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije: $\mathbf{2\ Ca(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ CaO(s)}$

U reakcijskom sustavu prije početka reakcije nalazilo se dvostruko više molekula kisika nego atoma kalcija.

A Jedinke kojega reaktanta potpuno izreagiraju u kemijskoj reakciji? _____

B Dio jedinki kojega reaktanta nakon kemijske reakcije ostaje neizreagiran? _____

Treći zadatak iskazan riječima je provjeravao konceptualno razumijevanje mjerodavnog reaktanta. U prvom dijelu zadataka učenici su trebali izračunati jedinke kojega reaktanta će potpuno izreagirati u kemijskoj reakciji ukoliko se u reakcijskom sustavu prije početka reakcije nalazilo dvostruko više molekula kisika nego atoma kalcija. Na postavljeno pitanje točno je odgovorilo 51,2 % (M=0,51, SD=0,50) učenika tretmanske i 40,3 % (M=0,41, SD=0,49) učenika komparabilne skupine. T-testom je utvrđeno da je tretmanska skupina

statistički značajno bolja od komparabilne (t=2,665; df =579; p=,008). Vrijednost Cohen' d iznosi 0,21 i predstavlja skroman učinak.

U drugom dijelu zadatka od učenika se očekivalo da utvrde da su molekule kisika nakon kemijske reakcije ostale neizreagirane. Točno je odgovorilo 53,4 % (M=0,53, SD=0,49) učenika tretmanske i 39,9 % (M=0,40, SD=0,50) učenika komparabilne skupine. T-testom je i u ovom dijelu zadatka utvrđeno da je tretmanska skupina statistički značajno bolja od komparabilne (t=3,267; df =579; p=,001).

Zadatak 4

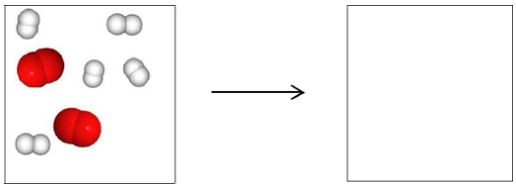
Četvrti zadatak se odnosi na koncept mjerodavnog reaktanta.

Reakcijom vodika i kisika nastaje voda. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l)}$$

Legenda: model molekule vodika  model molekule kisika

Rabeći čestični crtež u prazan pravokutnik ucrtaj sastav reakcijskog sustava nakon kemijske reakcije.



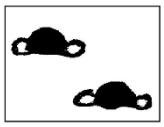
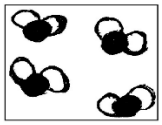
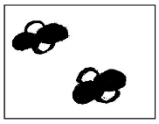
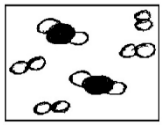
Postotak učenika tretmanske skupine koji je riješio problem povezan s konceptom mjerodavnog reaktanta povećao se sa 16,2 % u preliminarnom ispitu znanja na 36,1 % u završnom ispitu znanja. Podatci ukazuju na statistički značajnu razliku u rezultatima tretmanske skupine (M_T =1,71, SD_T=1,11) u odnosu na rezultate komparabilne skupine (M_K=0,93, SD_K=1,16, t=7,74; df =579; p=0,00). Vrijednost Cohen's d iznosi 0,68 i predstavlja umjeren učinak. Tretmanska skupina je uspješnija u određivanju mjerodavnog reaktanta u reakciji sinteze vode iz elementarnih tvari i crtanju produkata kemijske reakcije. Učenički crteži prikazani u Tablici 4.16. pružaju uvid u konceptualno razumijevanje mjerodavnog reaktanta.

Značajan postotak svih učenika (12,6 %) nacrtao je točan broj molekula vode no izostavili su reaktant u suvišku. Približno 21,0 % učenika nacrtalo je broj molekula vode koji odgovara stehiometrijskom broju u jednadžbi kemijske reakcije (2 H_2O). Navedeni rezultati

slažu se s rezultatima istraživanja Davidowitz i sur. (2010) u kojem je 40,0 % studenata točno nacrtalo čestični crtež , a 6,7 % studenata je nacrtalo produkte kemijske reakcije bez reaktanta u suvišku.

Prostorna građa molekula nije sadržaj poučavanja u primarnom kemijskom kurikulumu iako se u nastavi kemije koriste modeli molekula koji realno prikazuju prostornu građu jednostavnih molekula. Analizom crteža učenika koji su jednadžbu kemijske reakcije točno prikazali čestičnim crtežom uočeno je da u tretmanskoj skupini u odnosu na komparabilnu skupinu veći broj učenika obraća pozornost na odnos veličina atoma i prostornu građu crtanih čestičnih prikaza. Usvojena vještina postignuta vizualnim podražajem tijekom poučavanja za ove učenike bit će korisna u daljnjem kemijskom obrazovanju.

Tablica 4.16. Analiza učeničkih crteža u zadatku 4 završnog ispita znanja

Učenički odgovor	**Čestični crtež**	**Broj (%) odgovora**	
		K	**T**
4 H_2O + H_2		45(15,1)	102(36,1)
2 H_2O		65(21,8)	58(20,5)
4 H_2O		40(13,4)	33(11,7)
2 H_2O_2		17(5,7)	15(5,3)
2 H_2O + 4 H_2		10(3,4)	6(2,1)
ostali netočni odgovori		13(4,4)	10(3,5)
nečitki odgovori; bez odgovora		108(36,2)	59(20,8)

Kvalitativne podatke prikupljene analizom čestičnih crteža potkrepljuju i rezultati intervjua:

- Josip i Helena povezuju broj molekula vode s brojem molekula u jednadžbi kemijske reakcije i pri tome ne uočavaju reaktant u suvišku.
- Roko i Ivan su točno izračunali broj molekula produkta i reaktanta u suvišku.

Sudionici fokusne grupe zajednički su došli do rješenja ovog zadatka. Kako bismo predočili njihova razmišljanja citirat ćemo dio diskusije.

I: Koji su reaktanti u ovom reakcijskom sustavu?
Ana: Vodik i..
I: Na crtežu nije prikazan vodik. Što je prikazano na crtežu?
Ana: Molekule vodika i molekule kisika.
I: Koliki je broj molekula vodika i kisika?
Ana: 2 molekule vodika i 4 molekule kisika.
I: Na crtežu nisu prikazane 4 molekule kisika? Koliko je molekula kisika na crtežu?
Ivo:: 5 molekula kisika.
Marin: Obrnuo je vodik i kisik.
I: Dobro, koliko je molekula vodika i kisika prikazano na crtežu?
Marin: 2 molekule kisika i 5 molekula vodika.
I: Koliko molekula vode može nastati iz 2 molekule kisika?
Ana:: Dvije.
I: Promislite još jednom, koliko molekula vode može nastati iz 2 molekule kisika?
Petra: Četiri.
I: Koliko je atoma vodika potrebno za nastanak četiri molekule vode?
Petra: Osam.
I: A koliko atoma vodika imamo u reakcijskom sustavu?
Petra: Deset atoma.
I: Što će onda ostati neizreagirano?
Marin: Dva atoma.
I: Koliko je to molekula vodika?
Marin: Ostat će jedna molekula vodika.
I: Ana, možemo li reći da je ta molekula produkt reakcije nastanka vode?
Ana: ……
Ivo: Ne znam baš.
Petar: Nije produkt jer ta molekula nije ni reagirala.

Podatci prikupljeni fokusnom grupom sugeriraju da učenici često brzopleto i površno analiziraju čestični crtež što rezultira pogrešnim prepoznavanjem tvari i njihovim prebrojavanjem, a što je preduvjet za rješavanje zadatka.

Zadatak 5

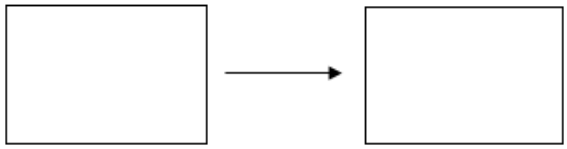
U ovom zadatku od učenika se očekivalo da nacrtaju reaktante i produkte sinteze amonijaka na osnovu ponuđene jednadžbe kemijske reakcije. Zadatak je sličan četvrtom zadatku preliminarnog ispita znanja u kojemu su učenici crtali reaktante i produkte oksidacije ugljikova monoksida, pa je i rezultate oba zadatka moguće usporediti.

Amonijak, $NH_3(g)$, bezbojan je plin, oštrog, karakterističnog mirisa. Proizvodi se Haber-Boschovim postupkom u kojemu vodik u prisutnosti katalizatora reagira s dušikom. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightarrow 2\ NH_3(g)}$$

Legenda: model atoma dušika model atoma vodika

Rabeći čestični crtež u prazne pravokutnike ucrtaj **reaktante** i **produkte** prema gore napisanoj jednadžbi kemijske reakcije.

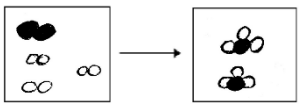
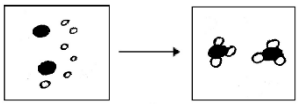
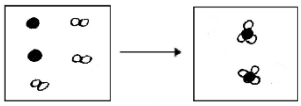
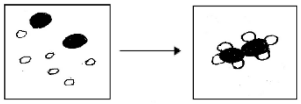
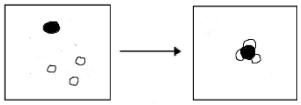
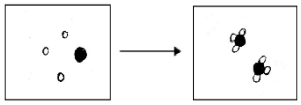


Postotak točnih odgovora veći je za tretmansku skupinu (54,4 %) u odnosu na komparabilnu skupinu (34,6 %). T-testom je utvrđeno da su rezultati tretmanske skupine (M_T=3,93, SD_T=2,54) statistički značajno bolji u usporedbi s rezultatima komparabilnu skupine (M_K=2,85, SD_K=2,59, t=5,06; df=579; p=0,000). Vrijednost Cohen' s d iznosi 0,42 i predstavlja skroman učinak.

Tablica 4.17 prikazuje najčešće učeničke pogreške u čestičnom prikazu sinteze amonijaka iz elementarnih tvari temeljenom na simboličkom zapisu. Nerazlikovanje pojmova stehiometrijski broj i indeks potvrđeno je u svim netočnim odgovorima. Većina učenika prikazala je točan broj čestica reaktanata i produkta na čestičnom crtežu. Približno 3 % učeničkih crteža prikazuje molekule amonijaka kao N_2H_6 agregate. Prema Davidowitz i sur. (2010), 19,0 % studenata konceptualizira molekule amonijaka kao N_2H_6 agregate. Za sličan

zadatak Yarroch (1985) navodi da iako većina srednjoškolaca točno izjednačava jednadžbu kemijske reakcije, preko polovine učenika ne zna točno crtežom prikazati kemijsku reakciju sinteze amonijaka. Analizom učeničkih odgovora Yarroch je uočio nerazumijevanje stehiometrijskog broja i indeksa napisanih u kemijskim formulama i jednadžbi kemijske reakcije.

Tablica 4.17. Analiza učeničkih crteža u zadatku 5 završnog ispita znanja

Učenički odgovor	**Čestični crtež**	**Broj (%) odgovora**	
		K	**T**
$N_2 + 3\ H_2 \rightarrow 2\ NH_3$		103(34,6)	154(54,4)
$2\ N + 6\ H \rightarrow 2\ NH_3$		18(6,0)	19(6,7)
$2\ N + 3\ H_2 \rightarrow 2\ NH_3$		24(8,1)	10(3,5)
$2\ N + 6\ H \rightarrow\ N_2H_6$		8(2,7)	9(3,2)
$N + 3\ H \rightarrow\ NH_3$		7(2,3)	5(1,8)
$N + 3\ H \rightarrow 2\ NH_3$		5(1,7)	4(1,4)
ostali netočni odgovori		41(13,7)	15(5,3)
nečitki odgovori; bez odgovora		92(30,9)	67(23,7)

Intervjuom prikupljeni podatci o simboličkom jeziku ukazuju da sudionici najčešće pogrešno opisuju značenje strelice u jednadžbi kemijske reakcije. Ivan i Helena znaju da strelica označava smjer kemijske reakcije. Sljedeći citati ukazuju na različita pogrešna shvaćanja i nemogućnost točnog definiranja strelice kemijske reakcije:

- *Znači da se dva sastava pomiješaju.*

- *Hmm…. (pokazuje na reaktante) Pokazuje što se iz ovoga na primjer dobije.*
- *Jednakost, znači što se dobije nakon te reakcije, reakcije reaktanata.*
- *Znači da iz tih reaktanata dobijamo jedan produkt.*
- *Da od ovoga (pokazuje reaktante) nastaje produkt.*

Na upit što su reaktanti, a što produkti pri sintezi amonijaka svi sudionici prepoznaju molekule dušika i molekule vodika kao reaktante kemijske reakcije, a molekule amonijaka kao produkt kemijske reakcije. Također, svi sudionici osim Josipa znaju definirati pojam reaktant i produkt kemijske reakcije. Josip točno definira produkte no nesiguran je u definiranju reaktanata: „To su tvari koje nastaju tako što…“ Analizom vlastitog crteža na kojemu je prikazao molekule dušika i vodika i kao reaktante i kao produkte zaključuje da na njegovom crtežu nije ni došlo do kemijske reakcije.

U kemijskoj formuli 2 NH_3 svi sudionici prepoznaju stehiometrijski broj i indeks. Također, svi sudionici znaju definirati pojam indeksa, a jedino Helena ne odgovara na upit što je stehiometrijski broj.

Iako svi sudionici prepoznaju oznaku čvrstog, tekućeg i plinovitog agreagacijskog stanja, njihovi odgovori najčešće su nedovoljno precizni. Kao primjer poslužit će dio transkripta Tajaninog intervjua.

I: *Što znači oznaka* g *u zagradama?*
Tajana: Gas, plin.
I: Možeš li biti preciznija?
Tajana: Stanje, agregacijsko stanje.
I: Što znači oznaka s *u zagradama?*
Tajana: Solid, čvrsto.
I: Što čvrsto?
Tajana: Agregacijsko stanje.
I: Što znači oznaka l *u zagradama?*
Tajana: Tekuće.
I: Što tekuće?
Tajana: Agregacijsko stanje.

Veće poteškoće su prisutne u tumačenju oznake aq:

- Josip i Helena smatraju da je oznaka skraćenica od *aqua* no ne znaju objasniti njeno značenje.

- Tajana smatra da aq znači voda, ali također ne zna protumačiti značenje ove oznake.
- Roko i Ivan znaju da oznaka aq predstavlja vodenu otopinu.

Temeljem navedenog, prikupljeni podatci sugeriraju zadovoljavajuće poznavanje značenja temeljnih simbola poput strelice, stehiometrijskog broja, indeksa i oznaka agregacijskih stanja.

Zadatak 6

Učenici su u ovom zadatku trebali prikazati disocijaciju klorovodične kiseline, kalijeve lužine i natrijeva klorida simboličkim zapisom.

Prikaži jednadžbom disocijaciju sljedećih tvari u vodi:

A $HCl + H_2O \rightarrow$ _____

B $KOH \rightarrow$ _____

C $NaCl \rightarrow$ _____

Mann-Whitney U testom je utvrđeno da ne postoji statistički značajna razlika u rezultatima između komparabilne i tretmanske skupine (Tablica 4.18). Tretmanska skupina je uspješnija u pisanju jednadžbi disocijacije kiseline (29,7 %) i lužine (40,7 %), a komparabilna u disocijaciji soli (43,0 %).

Tablica 4.18. Raspodjela točnih odgovora u zadatku 6

Crtež	Skupina	N	Broj (%) točnih odgovora	*Mann-Whitney U test*	*p*
A	K	298	80 (26,8)	40971,000	0,448
	T	283	84 (29,7)		
B	K	298	113 (37,9)	41021,500	0,503
	T	283	115 (40,7)		
C	K	298	128 (43,0)	39409,500	0,108
	T	283	104 (36,7)		

Bilo je za očekivati da će za učenike pisanje simboličkog zapisa disocijacije jake klorovodične kiseline biti najteži dio zadatka, jer trebaju pretpostaviti da vodikov ion (H^+) reagira s molekulom vode (H_2O) kako bi nastao oksonijev ion (H_3O^+). Analizom odgovora uočeni su različiti obrasci pogrešnog shvaćanja koncepta disocijacije kiselina, baza i soli, a najučestaliji su prikazani u Tablici 4.19.

Većina netočnih odgovora potvrđuje nerazumijevanje značenja pojma ion što se očituje i u njihovom pogrešnom simboličkom prikazivanju. Učenici najčešće ionske vrste ne označavaju nabojnim brojem (Cl, Na, K i OH). Ukoliko ione označavaju nabojnim brojem, često je nabojni broj pogrešan (K^{2+}, K^{-}, Cl^{2-}, Cl^{+}, Na^{-}, Na^{2+}, Na^{2-}). Odgovora, koji se pojavljuju sporadično, a ne ukazuju na razumijevanje pojma disocijacije i odgovarajućeg simboličkog jezika, ima ukupno 142 različite vrste.

Tablica 4.19. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatku 6 završnog ispita znanja

Odgovor	Pogrešno shvaćanje	Broj (%) odgovora	
		K	T
A	Neoznačavanje iona nabojnim brojem	52(17,4)	42(14,9)
	Pogrešno pisanje nabojnog broja	22(7,4)	25(8,8)
	Disocijacijom nastaju H^+ i Cl^-	25(8,4)	17(6,0)
	Disocijacijom nastaje H_2O^+ umjesto H_3O^+	11(3,7)	10(3,5)
	Nepovezivanje produkata znakom +	10(3,4)	8(2,8)
	Ostali netočni odgovori	39(13,1)	32(11,3)
	Bez odgovora	59(19,8)	65(23,0)
B	Neoznačavanje iona nabojnim brojem	37(12,4)	49(17.3)
	Pogrešno pisanje nabojnog broja	29(9,7)	24(8,5)
	Disocijacijom nastaje H_2O umjesto OH^-	12(4,0)	8(2,8)
	Nepovezivanje produkata znakom +	11(3,7)	8(2,8)
	Ostali netočni odgovori	44(14,8)	31(11,0)
	Bez odgovora	52(17,5))	48(16,9)
C	Neoznačavanje iona nabojnim brojem	32(10,7)	51(18,0)
	Pogrešno pisanje nabojnog broja	17(5,7)	3612,7)
	Nastanak molekula Na_2 i Cl_2	8(2,7)	6(2,1)
	Nepovezivanje produkata znakom +	15(5,0)	4(1,4)
	Ostali netočni odgovori	37(12,4)	29(10,3)
	Bez odgovora	61(20,5)	53(18,8)

Rezultati provedenog intervjua sugeriraju da učenici često ne znaju definirati pojam disocijacije, pa ne iznenađuje njihova neuspješnost u pisanju simboličkog zapisa disocijacije vodenih otopina kiselina, baza i soli. Na traženje da definira pojam disocijacije, Roko odgovara: „Razlaganje na molekule. Ne sjećam se“.

Sljedeći transkript fokusne grupe sugerira da su uzroci poteškoća u pisanju simboličkog zapisa disocijacije nerazumijevanje temeljnih kemijskih pojmova, prvenstveno iona, ali i atoma i molekula.

I: Što nastaje razlaganjem molekula neke kiseline na ione?

Marin: Oksonijev ion.

I: Napiši na ploči kemijsku formulu oksonijevog iona.

Marin: H_3O.

I: Predstavlja li kemijska formula H_3O ion?

Marin:…Željana: Ne. Nema naboj.

I: Zna li netko kemijsku formulu oksonijevog iona?

Petra: H_3O^+.

I: Što nastaje disocijacijom molekule klorovodične kiseline osim oksonijevog iona?

Marin: Metalni kation.

I: Koji je metalni kation nastao u ovom primjeru disocijacije?

Marin: Anion.

I: Koji anion nastaje disocijacijom klorovodične kiseline?

Željana: Oksonijev ion i Cl^-.

Ivo: Nemetalni anion.

I: Što nastaje disocijacijom formulske jedinke kalijeva hidroksida?

Željana: Kalij i hidroksidni ion.

I: Nastaje li kalij?

Petar: Kalijev ion.

I: Kako se označuju nastali ioni?

Petra: K^+ i OH^-.

I: Što nastaje disocijacijom formulske jedinke natrijeva klorida?

Ana: Ioni.

I: Ana, Koji ioni nastaju?

Ana:…..

Ivo: Natrijev i kloridni ion.

I: Kako se označuju nastali ioni?

Željka: Na i Cl.

I: Predstavljaju li ove oznake ione?

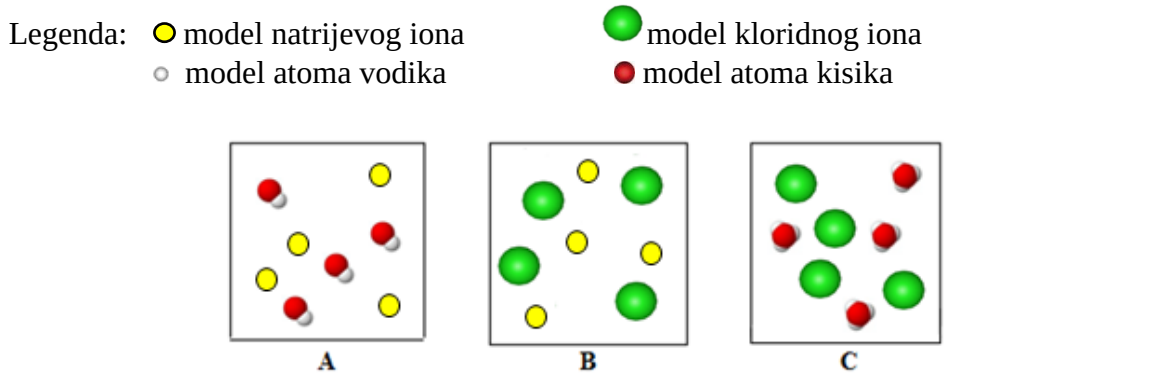
Petar: Ne. To su atomi.

Ivo: Treba pisati Na^+ i Cl^-.

Zadatak 7

I u ovom zadatku, poput prethodnog, traži se razumijevanje i primjena koncepta disocijacije. Izbor točnog crteža otežavala je legenda u kojoj nisu prikazani oksonijevi (H_3O^+) i hidroksidni (OH^-) ioni, važni za prepoznavanje kisele i lužnate otopine.

Crteži **A, B i C** prikazuju sastav triju vodenih otopina: **klorovodične kiseline**, **natrijeve lužine** i **natrijeva klorida**. Na praznu crtu ispod crteža napiši nazive pripadne otopine. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.



A _____ **B** _____ **C** _____

Molekule jake klorovodične kiseline disociraju u potpunosti, pa su u vodenoj otopini prisutni samo kloridni i oksonijevi ioni u omjeru 1:1 (crtež C). T- testom je utvrđeno da je tretmanska skupina statistički značajno bolja u omjeru odgovora u odnosu na komparabilnu skupinu (t=2,333; df =579; p=0,020). Uspješnost u ovom dijelu zadatka je najmanja, jer je točno 52,5 % svih učenika odabralo točan crtež (Tablica 4.20). Rezultat je moguće tumačiti nerazumijevanjem zadaće oksonijevih iona u kiselim otopinama ili njihovim neprepoznavanjem na crtežu. Rezultati se podudaraju s rezultatima Devetaka i sur. (2009) koji su utvrdili da 55 % učenika osmog razreda osnovne škole prepoznaje prikaz vodene otopine klorovodične kiseline.

Tablica 4.20. Raspodjela točnih odgovora u zadatku 7

Crtež	Skupina	N	Broj(%) točnih odgovora	*M*	*SD*	*t-vrijednost*	*p*	*Cohen's d*
A	K	298	172(57,7)	0,58	0,495	2,077	0,038	0,17
	T	283	187(66,1)	0,66	0,474			
B	K	298	156(52,3)	0,52	0,500	2,670	0,008	0,22
	T	283	179(63,3)	0,63	0,483			
C	K	298	142(47,7)	0,48	0,500	2,334	0,026	0,18
	T	283	161(56,9)	0,57	0,496			

Vodena otopina natrijeva hidroksida je jaka lužina koja sadrži natrijeve (Na^+) i hidroksidne (OH^-) ione u omjeru 1:1 (crtež A). T- testom je utvrđena statistički značajna razlika

u omjeru točnih odgovora između komparabilne i tretmanske skupine, odnosno, tretmanska skupina je statistički značajno bolja od komparabilne (t=2,077; df =579; p=0,038). Iako je 61,9 % svih učenika izabralo točan crtež, rezultati ukazuju da dio učenika ne prepoznaje hidroksidni ion ili ga ne povezuje s lužnatošću otopina. Rezultat je znatno bolji od rezultata sličnog zadatka koji su rješavali učenici osmog razreda u istraživanju Devetaka i sur. (2009). U navedenom zadatku samo je 22 % učenika izabralo točan prikaz vodene otopine jake lužine.

Natrijev klorid je sol dobro topljiva u vodi, pa su u otopini osim molekula vode prisutni samo natrijevi (Na^+) i kloridni (Cl^-) ioni u omjeru 1:1 (crtež B). I u ovom dijelu zadatka t-testom je utvrđeno da je tretmanska skupina statistički značajno bolja od komparabilne (t=2,670; df =579; p=0,008). Iznenađuje podatak da je samo 57,8 % učenika obiju skupina izabralo točan crtež uzimajući u obzir da je na crtežu trebalo prepoznati u legendi već prikazane natrijeve i kloridne ione. U sličnom zadatku koji su rješavali učenici osmog razreda u istraživanju Devetaka i sur. (2009) samo 31 % učenika je izabralo točan prikaz vodene otopine natrijeva klorida.

Vrijednost Cohen' *d* za čestice A i C manji je od 0,2 i predstavlja slab učinak, a učinak za česticu B je skroman.

Usporedbom šestog i sedmog zadatka koji se odnose na isti koncept uočavamo da su učenici tretmanske skupine značajno bolji u rješavanju zadatka u kojemu je disocijacija kiselina, baza i soli prikazana čestičnim crtežom za razliku od simboličkog prikaza istog koncepta u kojemu ne postoji statistički značajna razlika između tretmanske i komparabilne skupine.

Zadatak 8

Rješavanje ovog zadatka višestrukog izbora s jednim točnim odgovorom zahtijeva razumijevanje disocijacije slabih kiselina.

Koja tvrdnja opisuje vodenu otopinu neke slabe kiseline?

A Sadrži samo nedisocirane molekule kiseline.

B Sadrži jednak broj nedisociranih i disociranih molekula kiseline.

C Broj nedisociranih molekula znatno je veći od broja disociranih molekula.

D Broj nedisociranih molekula znatno je manji od broja disociranih molekula.

Od učenika se očekuje da zaključe da je broj nedisociranih molekula slabe kiseline u vodenoj otopini znatno veći od broja disociranih molekula.

χ^2 testom je utvrđeno nepostojanje statistički značajne razlike u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=8{,}516$; $p=0{,}130$). Budući da niti jedan distraktor nije izabralo više od 20 % ispitanika, možemo smatrati da ne postoji pogrešno shvaćanje povezano s disocijacijom slabih kiselina (Tablica 4.21). Postotak točnih odgovora upućuje na približno dovoljno konceptualno razumijevanje.

Tablica 4.21. Raspodjela odgovora u zadatku 8 završnog ispita znanja

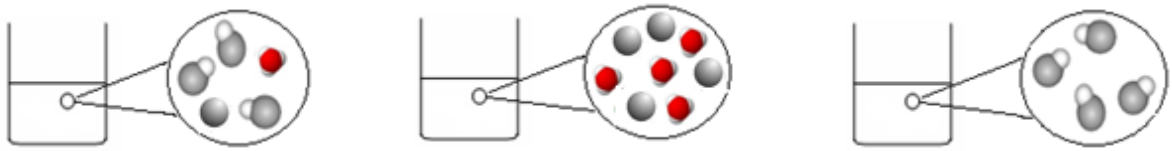
Skupina	**N**	**Broj (%) odgovora**					χ^2	*p*
		A	B	**C**	D	Bez odgovora		
K	298	6(2,0)	16(5,4)	**166(55,7)**	40(13,4)	70(23,5)	8,516	0,130
T	283	12(4,2)	18(6,4)	**152(53,7)**	46(16,3)	55(19,4)		

Zadatak 9

Zadatak 9 preispituje koncept slabe octene kiseline čije molekule u vodenoj otopini najvećim dijelom nisu disocirane.

Koji crtež prikazuje vodenu otopinu octene kiseline, CH_3COOH? Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule vode koje okružuju prikazane čestice. Zaokruži slovo uz točan crtež.

Legenda: model oksonijevog iona model acetatnog iona model molekule octene kiseline



A **B** **C**

Obrazloži izbor jednom rečenicom. _____.

Iako je 44,2 % učenika tretmanske skupine izabralo točan crtež A, $\chi 2$ testom nije utvrđena statistički značajna razlika u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine (Tablica 4.22).

Tablica 4.22. Raspodjela odgovora u zadatku 9 završnog ispita znanja

Skupina	N	Broj (%) odgovora				χ^2	*p*
		A	B	C	Bez odgovora		
K	298	**119(39,9)**	64(21,5)	28(9,4)	87(29,2)	5,292	0,259
T	283	**125(44,2)**	45(15,9)	25(8,8)	88(31,1)		

U drugom dijelu zadataka učenici su obrazlagali izbor crteža. Iako je 42,2 % svih učenika točno izabralo crtež, samo 4,9 % od ukupnog broja učenika je točno obrazložilo svoj izbor (Tablica 4.23).

Tablica 4.23. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatku 9 završnog ispita znanja

Odgovor	Pogrešna shvaćanja	Broj (%) odgovora	
		K	**T**
A	**Točan odgovor**	**10(4,7)**	**10(5,0)**
	Opis crteža (nabrajanje broja i vrsta čestica na čestičnom crtežu)	27(12,8)	34(17,5)
	Nerazumijevanje zadaće oksonijevog iona u otopini	16(7,6)	18(9,3)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini *(octena kiselina umjesto molekule octene kiseline)*	1(0,5)	2(1,0)
	Ostali netočni odgovori	2(0,9)	3(1,5)
	Bez odgovora	63(29,8)	58(29,8)
B	Opis crteža (nabrajanje broja i vrsta čestica na čestičnom crtežu)	12(5,7)	9(4,6)
	Nerazumijevanje zadaće oksonijevog iona u otopini	10(4,7)	6(3,1)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini *(octena kiselina umjesto molekule octene kiseline)*	1(0,5)	2(1,0)
	Ostali netočni odgovori	5(2,4)	4(2,1)
	Bez odgovora	36(17,1)	24(12,3)
C	Opis crteža (nabrajanje broja i vrsta čestica na čestičnom crtežu	4(1,9)	5(2,6)
	Nerazumijevanje zadaće oksonijevog iona u otopini	6(2,8)	3(1,5)
	Nerazlikovanje pojma molekula i ion *(molekula acetata)*	0(0,0)	2(1,0)
	Obrazloženje čestičnog crteža na makroskopskoj razini *(octena kiselina umjesto molekule octene kiseline)*	1(0,5)	1(0,5)
	Bez odgovora	17(8,1)	14(7,2)

Ovakav rezultat upućuje na činjenicu da većina učenika ne razumije koncept disocijacije slabe kiseline i da su točan crtež izabrali nasumično. Devetak i sur. (2009) naglašavaju da svakako treba obratiti pažnju na visoki postotak neobrazlaganja odgovora u dvodijelnim zadatcima višestrukog izbora. Razlog tome vjerojatno je činjenica da zadatci višestrukog izbora koji se koriste u nastavnoj praksi od učenika ne traže obrazloženje odgovora. Nastavnik treba poticati opisivanje i objašnjavanje kemijskih procesa na znanstveno prihvatljiv način. Obrazloženja upućuju na nesposobnost učenika da iskažu svoje mišljenje točno i precizno, koristeći pri tome kemijski jezik. Najčešće netočno obrazloženje je prebrojavanje čestica na točnom crtežu (tri molekule octene kiseline, jedan oksonijev ion i jedan acetatni ion) pri čemu se ne povezuje jakost kiseline s brojem oksonijevih iona u određenom volumenu otopine.

Da bismo stekli dublji uvid u razumijevanje koncepta disocijacije slabe kiseline, zatražili smo od ispitanika da nam objasne izbor crteža.

- Josip je izabrao točan crtež A, ali ne može samostalno obrazložiti svoj izbor iako zna da je octena kiselina slaba kiselina čiji mali broj molekula disocira.
- Tajana također ne zna obrazložiti izbor crteža A iako posjeduje potrebno teoretsko znanje.

I: Zašto si u zadatku 9. izabrala odgovor A?
Tajana: To mi je bio najprihvatljiviji odgovor.
I: Zašto je to za tebe najprihvatljiviji odgovor?
Tajana: Jer ima svega.
I: Je li octena kiselina slaba ili jake kiselina?
Tajana: Slaba.
I: Što to znači?
Tajana: Ima malo oksonijevih iona.
I: Koliko molekula octene kiseline u vodenoj otopini disocira?
Tajana: Malo.
I: Koliko je molekula octene kiseline disociralo na crtežu A?
Tajana: Jedna.

- Roko zna da je octena kiselina slaba kiselina kao i ostale karboksilne kiseline te da mali broj molekula kiseline disocira. Usprkos tome, on pogrešno tumači crtež A smatrajući da molekule octene kiseline predstavljaju disocirane molekule octene kiseline.

- Za razliku od Roka, Ivan točno tumači sva tri crteža. Ivan zna da crtež C ne može predstavljati kiselu vodenu otopinu, jer ne sadrži niti jedan oksonijev ion.

Slični rezultati proizašli su i iz fokusne grupe. Sudionici fokusne grupe zaokružili su točan crtež A, no nisu obrazložili svoj izbor u drugom dijelu zadatka. Postavljanjem pitanja intervjuer uspijeva od sudionika dobiti točne opise i obrazloženja crteža.

I: Koji crtež prikazuje disocijaciju octene kiseline?
Ivo: Crtež A.
I: Točno, ali zašto baš crtež A?
Ivo: Hm…
Marin: Zato što je octena kiselina slaba kiselina pa nisu sve molekule disocirale.
I: Koliko je molekula na crtežu A disociralo?
Petra: Jedna.
I: Na crtežu B?
Marin: Sve.
I: Kakva je kiselina po jakosti prikazana na crtežu B?
Petra: Jaka kiselina.
I: A na crtežu C?
Marin: Nijedna.
I: Predstavlja li crtež C kiselinu?
Marin: Ne.
I: Zašto?
Marin: Jer nema oksonijevih iona.

Zadatak 10

Deseti zadatak ispituje poznavanje simboličkog jezika i to jednadžbe kemijske reakcije neutralizacije.

Koji od navedenih zapisa prikazuje jednadžbu kemijske reakcije neutralizacije?

A $H_3O^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

B $H_2O + OH^- \rightarrow H_3O^+$

C $H_2O + H_3O^+ \rightarrow 2\ OH^-$

D $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2\ H_2O$

Iako je tretmanska skupina bila uspješnija u rješavanju ovog zadatka, χ^2 testom nije utvrđeno postojanje statistički značajne razlike u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=4{,}810$; $p=0{,}439$). U ovom zadatku također nije utvrđeno postojanje pogrešnog shvaćanja, jer niti jedan distraktor učenici nisu birali u postotku većem od 20 % (Tablica 4.24). Postotak točnih odgovora upućuje da je konceptualno razumijevanje učenika komparabilne skupine u velikoj mjeri nedovoljno. Konceptulano razumijevanje učenika tretmanske skupine možemo smatrati približno dovoljnim. U zadatcima višestrukog izbora veliki broj učenika nije birao niti jedan odgovor. Razlog tome možda se nalazi u činjenici da su učenici znali da se test neće ocijeniti, pa nisu nasumično birali točan odgovor.

Tablica 4.24. Raspodjela odgovora u zadatku 10 završnog ispita znanja

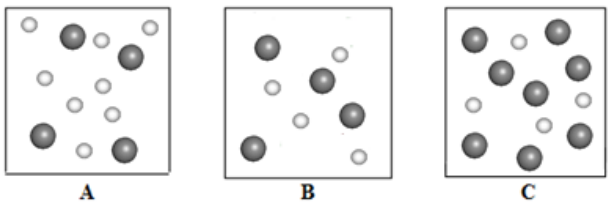
Skupina	**N**	**Broj (%) odgovora**					χ^2	*p*
		A	B	C	**D**	Bez odgovora		
K	298	58(19,5)	32(10,7)	20(6,7)	**132(44,3)**	56(18,8)	4,81	0,439
T	283	46(16,3)	38(13,4)	18(6,4)	**144(50,9)**	37(13,0)		

Zadatak 11

Zadatak provjerava razumijevanje koncepta disocijacije soli i od učenika traži povezivanje submikroskopskog prikaza sa simboličkim prikazom. Uspješno rješavanje ovog zadatka iziskuje razumijevanje pojma indeks u navedenim kemijskim formulama.

Crteži prikazuju vodene otopine soli u kojima **K** označava kation, a **A** anion. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.

Legenda: ○ model kationa ● model aniona



Pridruži navedenim tipovima soli slovo odgovarajućeg crteža vodene otopine soli.

KA _____ **KA_2** _____ **K_2A** _____

Kvantitativna analiza jedanaestog zadatka prikazana je u Tablici 4.25. Učenici tretmanske skupine uspješniji su u sva tri dijela zadatka u odnosu na učenike komparabilne skupine. Podatci ukazuju na statistički značajnu razliku u rezultatima tretmanske skupine u odnosu na rezultate komparabilne skupine, također u sva tri dijela zadatka. Vrijednost Cohen' *d* za sve čestice ovog zadatka veća je od 0,2 i predstavlja skroman učinak.

Tablica 4.25. Raspodjela točnih odgovora u zadatku 11 završnog ispita znanja

Crtež	Skupina	N	Broj (%) točnih odgovora	*M*	*SD*	*t-vrijednost*	*p*	*Cohen's d*
A	K	298	148(49,7)	0,50	0,501	3,415	0,001	0,29
	T	283	180(63,6))	0,64	0,482			
B	K	298	147(49,3)	0,49	0,501	3,832	0,000	0,33
	T	283	182(64,3)	0,65	0,485			
C	K	298	212(71,1)	0,71	0,454	2,341	0,020	0,21
	T	283	225(79,5)	0,80	0,404			

Zahvaljujući primjeni čestičnog crteža tijekom poučavanja nastavnih sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli, učenici tretmanske skupine uspješniji su u povezivanju submikroskopskih i simboličkih prikaza.

Zadatak 12

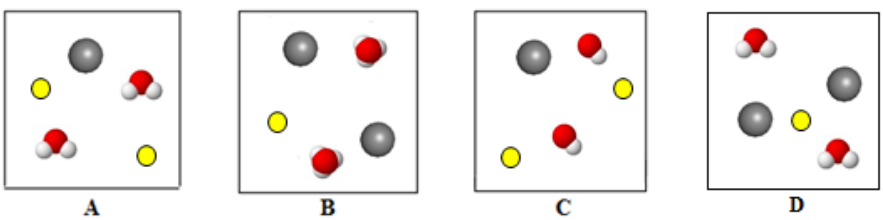
Zadatak ispituje koncept neutralizacije i omogućava nam uvid u stupanj usvojenosti koncepta navedene promjene kroz simbolički prikaz (JKR) i čestični prikaz.

Jednadžbom kemijske reakcije prikaži neutralizaciju natrijeve lužine sumpornom kiselinom.

_____ + _____ → Na_2SO_4 + _____

Koji od sljedećih crteža prikazuje **produkte** ove kemijske reakcije? Zaokruži slovo uz točan crtež.

Legenda: model natrijevog kationa; model sulfatnog aniona; model atoma vodika; model atoma kisika



U prvom dijelu zadatka od učenika se traži poznavanje simboličkog jezika. Učenici su trebali prikazati reaktante i produkte neutralizacije natrijeve lužine sumpornom kiselinom i izjednačiti jednadžbu kemijske reakcije. Kemijska formula natrijeva sulfata bila je unaprijed zadana.

Postotak točnih odgovora veći je za komparabilnu skupinu (25,5 %) u odnosu na tretmansku skupinu (20,8 %). Mann-Whitney U testom nije utvrđena statistički značajna razlika u rezultatima tretmanske i komparabilne skupine (U=40204,000; p=0,185).

Najčešća pogrešna shvaćanja uočena u učeničkim simboličkim zapisima prikazana su u Tablici 4.26. Rezultati ukazuju na slabu primjenu simboličkog jezika. Znatan broj učenika obiju skupina ima poteškoće s izjednačavanjem jednadžbe kemijske reakcije. Također, veliki broj svih učenika (36,8 %) nije ni pokušao napisati jednadžbu neutralizacije.

Tablica 4.26. Analiza pogrešnih shvaćanja prvog dijela zadatka 12 završnog ispita znanja

Pogrešna shvaćanja	**Broj (%) odgovora**	
	K	**T**
Točan odgovor	**76(25,5)**	**59(20,8))**
Neizjednačena jednadžba kemijske reakcije	32(10,7)	24(8,5)
Netočno izjednačavanje jednadžbe kemijske reakcije	18(6,0)	22(7,8)
Netočno označavanje sudionika kemijske reakcije:		
kemijska formula NaOH označena kao: Na	4(1,3)	2(0,7)
Na_2	3(1,0)	5(1,7)
Na^+	0(0,0)	2(0,7)
Na_2O	1(0,3)	1(0,4)
Na_2OH	0(0,0)	1(0,4)
$Na(OH)_2$	7(2,4)	8(2,8)
Na_2SO_3	2(0,7)	1(0,4)
$NaOH^-$	0(0,0)	1(0,4)
kemijska formula H_2SO_4 označena kao: S_2	0(0,0)	1(0,4)
S	1(0,3)	0(0,0)
S_8	7(2,4)	7(2,4)
SO_4	7(2,4)	8(2,8)
SO_2	0(0,0)	1(0,4)
$H_2SO_4^-$	0(0,0)	1(0,4)
kemijska formula H_2O označena kao: H_2	5(1,7)	4(1,4)
H_3O^+	2(0,7)	8(2,8)
Nedovršena jednadžba kemjske reakcije (nedostaju reaktanti ili produkt)	7(2,4)	5(1,7)
Ostali višeznačni odgovori	15(5,0)	19(6,7)
Bez odgovora	111(37,2)	103(36,4)

U drugom dijelu zadatka učenici su trebali povezati simbolički prikaz neutralizacije natrijeva hidroksida i sumporne kiseline sa submikroskopskim prikazom produkata neutralizacije. Iako je komparabilna skupina bila uspješnija u drugom dijelu ovog zadatka,

χ^2 testom nije utvrđeno postojanje statistički značajne razlike u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=1,989$; $p=0,170$). Postotak točnih odgovora upućuje da je konceptualno razumijevanje učenika obje skupine u velikoj mjeri nedovoljno (Tablica 4.27). Svi distraktori birani su manje od 20 %, pa možemo smatrati da ne postoji pogrešno shvaćanje povezano s konceptom neutralizacije.

Tablica 4.27. Raspodjela odgovora drugog dijela zadatka 12 završnog ispita znanja

Skupina	**n**	**Broj (%) odgovora**					χ^2	***p***
		A	B	C	D	Bez odgovora		
K	298	**119(39,9)**	22(7,4)	14(4,7)	26(8,7)	117(39,3)	1,989	0,170
T	283	**100(35,3)**	36(12,7)	24(8,5)	32(11,3)	91(32,2)		

Učenici komparabilne skupine bili su uspješniji ne samo u pisanju i izjednačavanju jednadžbe neutralizacije već i u njenom povezivanju sa submikroskopskim prikazom.

Da bismo stekli dublji uvid u razumijevanje koncepta neutralizacije, zatražili smo od sudionika intervjua da definiraju proces neutralizacije, napišu jednadžbu neutralizacije natrijeve lužine i sumporne kiseline te obrazlože izbor crteža koji predstavlja produkte ovog kemijskog procesa. Svi ispitanici su točno definirali proces neutralizacije.

- Tajana je u odgovorima nesigurna i teško se snalazi u pisanju jednadžbe neutralizacije, jer ne razumije značenje stehiometrijskog broja i indeksa te ne zna primijeniti valencije u sastavljanju kemijskih formula.

I: Zašto si u jednadžbi neutralizacije napisala formulu natrijeva hidroksida $NaOH_2$?
Tajana: Hm… ne znam.
I: Koliko je atom natrija valentan?
Tajana: Jednovalentan.
I: Koliko je valentna hidroksidna skupina?
Tajana: Isto.
I: Na što se odnosi napisani indeks 2?
Tajana: Na hidroksidnu skupinu.
I: Može li se odnositi na hidroksidnu skupinu ukoliko ona nije označena zagradama?
Tajana: Ne može.

I: Na što se onda odnosi indeks u ovako napisanoj kemijskoj formuli?
Tajana: Samo na vodik.
I: Možeš li sada zaključiti koja je točna kemijska formula natrijeve lužine?
Tajana: …. možda NaOH?

- Josip i Helena su uz pomoć nastavnika napisali i izjednačili jednadžbu reakcije neutralizacije.
- Roko je točno napisao sudionike kemijske reakcije i uz pomoć nastavnika izjednačio jednadžbu kemijske reakcije.

I: Koliko je atoma natrija s lijeve strane jednadžbe kemijske reakcije?
Roko: Jedan.
I: Koliko je atoma natrija s desne strane jednadžbe kemijske reakcije?
Roko: Dva.
I: Što moramo uraditi kako bismo izjednačili jednadžbu neutralizacije?
Roko: Treba napisati 2 ispred NaOH.
I: Je li sada jednadžba kemijske reakcije izjednačena?
Roko: Mislim da nije.
I: Zašto misliš da nije?
Roko: Jer nije isti broj atoma vodika s lijeve i desne strane.
I: Kako ćemo izjednačiti broj atoma vodika?
Roko: Treba napisati 2 ispred H_2O.

- Ivan je potpuno samostalno napisao jednadžbu reakcije neutralizacije.

S opisivanjem i tumačenjem ponuđenih crteža sudionici uglavnom nisu imali problema tijekom fokusne grupe. Poteškoće su iskazali u prepoznavanju hidroksidnog iona za kojega su smatrali da je molekula. Prepoznavanje iona na čestičnim crtežima je teže u odnosu na simboličke zapise, jer crteži ne sadrže nabojne brojeve po kojima ih učenici prepoznaju u simboličkim prikazima.

I: Usporedite točno napisanu jednadžbu kemijske reakcije s crtežima. Koji crtež odgovara JKR?
Marin: Crtež A.
I: Zašto?

Marin: Jer imamo dvije molekule vode, dva natrijeva kationa i jedan sulfatni anion.

I: Što je prikazano na slici B?

Petra: 2 sulfatna aniona i jedan natrijev kation.

I: I što još?

Ivo: Nije prikazana voda.

I: Što je prikazano?

Željana: Oksonijevi ioni.

I: Dobro, a na slici C?

Ivo: Molekula OH.

I: Je li to molekula?

Željana: Ne, to bi trebao biti ion.

I: Kako je električki nabijen taj ion?

Željana: Negativno.

I: Kakva bi trebala biti vodena otopina nastala neutralizacijom?

Marin: Neutralna.

I: Jesu li vodene otopine na crtežima B i C neutralne?

Marin: Nisu.

I: Zašto crtež D ne predstavlja produkte neutralizacije?

Ana: Zbog dva sulfatna aniona.

I: Koliko nastala sol ima sulfatnih iona u svom sastavu?

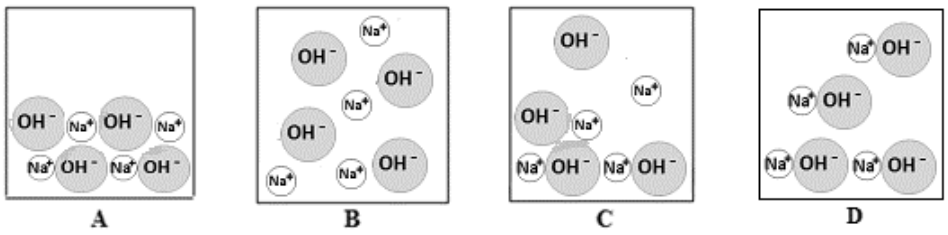
Marin: Jedan.

Zadatak 13

Posljednji zadatak sastoji se od četiri čestice i slično kao prethodni zadatak, omogućava nam uvid u odnos konceptualnog razumijevanja simboličkog jezika i konceptualnog razumijevanja prikaza čestičnim crtežom.

U zadatku 13A učenici su trebali izabrati crtež A koji predstavlja dvodimenzijski prikaz kristalne strukture natrijeva hidroksida. Uspješno rješavanje ovog dijela zadatka traži od učenika da znaju da je natrijev hidroksid čvrsta tvar, a također potrebno je znati kako se čestičnim crtežom prikazuje čvrsto agregacijsko stanje.

Prouči sljedeće čestične crteže i odgovori na postavljena pitanja.



A Koji crtež predstavlja natrijev hidroksid? _____

B Koji crtež predstavlja natrijevu lužinu? _____

C Napiši kemijsku formulu natrijeva hidroksida. Označi agregacijsko stanje. ___

D Napiši kemijsku formulu natrijeve lužine. Označi agregacijsko stanje. _____

Učenici tretmanske skupine su uspješniji u rješavanju ovog dijela zadatka (Tablica 4.28). χ^2 testom nije utvrđeno postojanje statistički značajne razlike u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine ($\chi^2(579)=3{,}138$; $p=0{,}679$). Postotak točnih odgovora upućuje da je konceptualno razumijevanje učenika obje skupine u velikoj mjeri nedovoljno. Frekvencija biranja distraktora ne prelazi 20 % pa možemo smatrati da ne postoji pogrešno shvaćanje.

Tablica 4.28. Raspodjela odgovora u zadatku 13A završnog ispita znanja

Skupina	**N**	**Broj (%) odgovora**					χ^2	***p***
		A	B	C	D	Bez odgovora		
K	298	**110(36,9)**	36(12,1)	40(13,4)	56(18,8)	56(18,8)	3,138	0,679
T	283	**113(39,9)**	34(12,0)	42(14,9)	60(21,2)	34(12,0)		

U drugom dijelu zadatka učenici su trebali prepoznati čestični crtež koji prikazuje natrijevu lužinu. Budući je natrijeva lužina jaka lužina, pretpostavljamo da će sve formulske jedinke u vodenoj otopini biti disocirane. Crtež B jedini prikazuje sve jedinke u disociranom obliku. Učenici tretmanske skupine i u ovom dijelu zadatka su uspješniji (Tablica 4.29).

Statistički značajna razlika u omjeru odgovora između komparabilne i tretmanske skupine nije utvrđena χ^2 testom ($\chi^2(579)=6{,}931$; $p=0{,}226$). Postotak točnih odgovora upućuje da je konceptualno razumijevanje učenika obje skupine nedovoljno.

Tablica 4.29. Raspodjela odgovora u zadatku 13B završnog ispita znanja

Skupina	**N**	**Broj (%) odgovora**					χ^2	***p***
		A	**B**	C	D	Bez odgovora		
K	298	56(18,8)	**39(13,1)**	36(12,1)	86(28,9)	81(27,1)	6,931	0,226
T	283	82(29,0)	**47(16,6)**	26(9,2)	80(28,3)	48(16,9)		

Uočena su i dva pogrešna shvaćanja. Učenici tretmanske skupine u značajnom postotku (29,0 %) biraju crtež A, pa zaključujemo da ne razlikuju pojam natrijev hidroksid i natrijeva lužina na razini čestične građe navedenih sustava. Distraktor D za obje skupine predstavlja dobar izbor iako je na crtežu prikazana „molekulska struktura“ natrijeve lužine. Pogrešna shvaćanja potvrđuju nerazumijevanje disocijacije jakih baza. Potrebno je spomenuti da veliki broj učenika komparabilne skupine nije izabrao niti jedan od ponuđenih čestičnih crteža što potkrepljuje prethodnu tvrdnju. Usporedbom ove čestice s česticom 7A čiji je postotak riješenosti četverostruko veći, a koja se također odnosi na simbolički prikaz natrijeve lužine, uočavamo da učenici prepoznaju hidroksidni ion u sastavu lužina, ali im koncept disocijacije jakih baza nije jasan. Također, učenici su značajno uspješniji (39,3 %) u prikazivanju disocijacije jake baze jednadžbom kemijske reakcije u čestici 6B, u odnosu na prepoznavanje njenog čestičnog prikaza u ovom zadatku.

U 13C zadatku, od učenika se očekivalo da napišu kemijsku formulu natrijeva hidroksida, NaOH(s), a u 13D zadatku kemijsku formulu natrijeve lužine, NaOH(aq). Razlika u njihovim formulama je razlika u oznaci agregacijskog stanja. Tablica 4.30 prikazuje postotak točnih odgovora u zadatcima 13C i 13D.

Iako su učenici komparabilne skupine bili uspješniji u oba dijela zadatka, rezultati Mann-Whitney U testa nisu utvrdili statistički značajnu razliku u rezultatima obiju skupina.

Tablica 4.30. Usporedba rezultata u zadatcima 13C i 13D završnog ispita znanja

Zadatak	Skupina	N	Broj(%) točnih odgovora	Mann-Whitney U test	*p*
13C	**K**	298	67(22,5)	41030,500	0,427
	T	283	56(19,8)		
13D	**K**	298	65(21,8)	40881,500	0,368
	T	283	59(20,9)		

Tablica 4.31 prikazuje najčešća pogrešna shvaćanja u pisanju kemijskih formula natrijeva hidroksida i natrijeve lužine.

Tablica 4.31. Analiza pogrešnih shvaćanja u zadatcima 13C i 13D završnog ispita znanja

Zadatak	Pogrešna shvaćanja	Broj (%) odgovora	
		K	**T**
13C	NaOH(g)	18(6,0)	21(7,4)
	NaOH	23(7,7)	18(6,4)
	NaOH(aq)	21(7,1)	17(6,0)
	NaOH(l)	17(5,7)	15(5,3)
	$Na(OH)_2$	15(5,0)	15(5,3)
	$Na(OH)_2(s)$	10(3,4)	8(2,8)
	$Na(OH)_2(aq)$	7(2,4)	8(2,8)
	$Na(OH)_2(l)$	1(0,3)	3(1,1)
	Ostali netočni odgovori	15(5,0)	12(4,2)
	Bez odgovora	104(34,9)	110(38,9)
13D	NaOH(l**)**	17(5,7)	22(7,8)
	NaOH	21(7,0)	20(7,0)
	$Na(OH)_2(aq)$	13(4,4)	9(3,2)
	NaOH(g)	2(0,7)	12(4,2)
	NaOH(s)	6(2,0)	8(2,8)
	$Na(OH)_2(l)$	2(0,7)	3(1,1)
	Na	4(1,3)	0(0,0)
	Na_2O	3(1,0)	0(0,0)
	Na_2OH	0(0,0)	3(1,1)
	Ostali netočni odgovori	13(4,4)	8(2,8)
	Bez odgovora	152(51,0)	139(49,1)

Odgovori u zadatcima 13C i 13D potvrđuju da učenici ne znaju točno primijeniti oznake agregacijskih stanja u kemijskim formulama natrijeva hidroksida i natrijeve lužine. Dio učenika koji točno pišu simboličke zapise NaOH(s) i NaOH(aq) ne povezuju ih s čestičnom građom promatranih sustava što se očituje u još slabijoj riješenosti čestica 13A i 13B.

Netočni odgovori upućuju i na problem pisanja kemijskih formula pomoću valencija. Problem se javlja zbog nepoznavanja valencija atoma natrija i hidroksidne skupine ili zato što učenici ne znaju primijeniti valencije u pisanju kemijskih formula.

Navedeno potvrđuju rezultati provedenog intervjua.

- Josip zna da je natrijeva lužina jaka lužina u kojoj je veliki broj jedinki disocirao, no za crtež B smatra da prikazuje čvrsto agregacijsko stanje.
- Drugi ispitanik, Tajana, zna da je natrijeva lužina jaka lužina čije jedinke u velikom broju disociraju, ali odabire crtež C na kojem većina jedinki nije disocirala.
- Slično razmišlja i Helena koja odabire prvo crtež D, a potom i crtež C kao prikaz natrijeve lužine premda zna da je to jaka lužina.
- Jurica zna da su u čvrstom agreagacijskom stanju čestice pravilno raspoređene no ne zna prepoznati crtež koji prikazuje čvrsto agregacijsko stanje. Kao i Helena, on odabire crtež C i crtež D kao prikaze natrijeve lužine iako pretpostavlja da su na crtežu sve jedinke trebale disocirati.

Sljedeći transkript potvrđuje da učenici ne razlikuju neke temeljne kemijske pojmove, poput molekule i formulske jedinke ionskog spoja. Ivan posjeduje određeno teoretsko znanje kojeg s poteškoćama primjenjuje u rješavanju kemijskih problema.

I: U kojem agregacijskom stanju je natrijeva lužina?
Ivan: Vodena otopina..
I: Kakva je ona po jakosti?
Ivan: Slaba.
I: Natrij je metal prve skupine PSE. Kakve su lužine metala prve skupine PSE?
Ivan: Hm, jake.
I: Što to znači?
Ivan: Znači da je velik broj molekula disocirao.
I: Natrij je metal, jesu li to uistinu molekule?
Ivan: Ne znam…..Mogle bi biti formulska jedinke.
I: Koja je razlika između molekule i formulske jedinke ionskog spoja?
Ivan: Formulska jedinka prikazuje najmanji omjer tvari.
I: Kojih tvari?
Ivan: U lužini.
I: Nije samo u lužini, mogu to biti i drugi spojevi metala i nemetala. Znači, formulska jedinka

predstavlja najmanji omjer metalnih kationa i nemetalnih aniona. Od atoma kojih kemijskih elemenata su građene molekule?
Ivan: Nemetala.

Rezultati fokusne grupe također ukazuju na problem prepoznavanja tvari koja je u potpunosti disocirala. Tri učenika smatraju da crtež D prikazuje natrijevu lužinu, a preostalih dvoje su se odlučili za crtež B. Uočeno je i nerazlikovanje pojmova molekula i formulska jedinka ionskog spoja *(„sve molekule natrijeve lužine su disocirale“).*

5. ZAKLJUČAK

Istraživanje provedeno u okviru ove doktorske radnje svojim je rezultatima imalo za cilj dati doprinos u području metodike nastave kemije i potaknuti uporabu čestičnog crteža pri analizi, provjeri, usvajanju i unapređenju konceptualnog znanja u početnom učenju kemije. Kao središnji kemijski koncept tijekom istraživanja postavljena je jednadžba kemijske reakcije jer objedinjuje brojne temeljne kemijske pojmove. Rezultati istraživanja potvrđuju pozitivne učinke uporabe čestičnog crteža opisane u većini srodnih istraživanja provedenih na višim razinama formalnog obrazovanja. Najznačajniji rezultati dobiveni analizom preliminarnog i završnog ispita znanja biti će sažeto iznijeti u nastavku.

U preliminarnom ispitu znanja nije utvrđena statistički značajna razlika u konceptualnom razumijevanju jednadžbe kemijske reakcije između komparabilne i tretmanske skupine.

Usporedbom rezultata preliminarnog ispita znanja komparabilne i tretmanske skupine prema spolu utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika između učenika komparabilne i tretmanske skupine, odnosno učenica komparabilne i tretmanske skupine. Također, nije utvrđena značajna razlika između učenika i učenica u komparabilnoj, odnosno tretmanskoj skupini.

U preliminarnom ispitu znanja uočene su poteškoće u povezivanju simboličkog prikaza kemijske promjene jednadžbom kemijske reakcije s prikazom submikroskopske razine iste promjene čestičnim crtežom. Algoritamsko znanje koje učenici primjenjuju u pisanju jednadžbe kemijske reakcije nije bilo dostatno za konceptualno razumijevanje kemijske promjene na čestičnoj razini. Učenici su pokazali zadovoljavajuće konceptualno razumijevanje u prvom zadatku u kojemu je broj čestica u simboličkom zapisu jednadžbe kemijske reakcije bio prenesen u čestični crtež submikroskopske razine. Nasuprot tome, zadatci 2 i 3 u kojima to nije bio slučaj otkrili su učeničko nepoimanje zapisa jednadžbe kemijske reakcije kao jedinične pretvorbe koja se u reakcijskom sustavu događa mnogo puta ili točnije onoliko puta koliko to određuje mjerodavni reaktant.

Učenici su bili dvostruko uspješniji u prvom zadatku u kojemu su birali točan crtež u odnosu na četvrti zadatak u kojemu su trebali samostalno nacrtati sudionike kemijske reakcije.

Pogrešna shvaćanja prepoznata u preliminarnom ispitu znanja odnose se na nerazumijevanje pojmova atom i molekula, nerazlikovanje jednadžbe kemijske reakcije i

reakcijskog sustava, nerazlikovanje stehiometrijskog broja i indeksa te poteškoće povezane s primjenom zakona o očuvanju mase. Ista pogrešna shvaćanja opisana su kod ispitanika koji su poučavani različitim didaktičkim strategijama u različitim obrazovnim sustavima što je u skladu s literaturnim izvorima, a upućuje na zaključak da se pogrešna shvaćanja prepoznata u početnom poučavanju zadržavaju često i nakon više godina formalnog kemijskog obrazovanja, čime se potvrđuje njihova trajnost i tvrdokornost.

Posebnu pažnju treba obratiti na činjenicu da mali postotak učenika točno obrazlaže izbor crteža. Razlog tome je vjerojatno što se u nastavnoj praksi najčešće koriste zadatci i nastavne metode u kojima se od učenika ne traži obrazloženje odgovora. Obrazloženja crteža često se iskazuju na makroskopskoj razini što upućuje na nedostatno razvijene vještine i sposobnosti u povezivanju makroskopske i submikroskopske razine.

Rezultati završnog ispita znanja provedenog šest mjeseci nakon završetka kvazieksperimenta utvrdili su da je tretmanska skupina statistički značajno bolja u konceptualnom razumijevanju jednadžbe kemijske reakcije i da je postignuta pozitivna retencija znanja.

Usporedbom rezultata završnog ispita znanja komparabilne i tretmanske skupine prema spolu utvrđeno je da su učenici tretmanske skupine statistički značajno bolji od učenika komparabilne skupine, a učenice tretmanske skupine značajno bolje od učenica komparabilne skupine. Također, utvrđeno je da su učenice obiju skupina statistički značajno bolje od učenika.

Razlika između rezultata završnog ispita znanja tretmanske i komparabilne skupine, nastala poučavanjem čestičnim crtežom iskazana je veličinom učinka. Vrijednost veličine učinka predstavlja skroman učinak.

Rezultati kvantitativnih i kvalitativnih metoda istraživanja pružili su vrijedne i dosljedne dokaze unapređenja konceptualnog znanja učenika tretmanske skupine vezanog za jednadžbu kemijske reakcije ne samo u zadatcima koji koriste čestični crtež (zadatci 1 i 4 završnog ispita znanja), već i u tradicionalnim zadatcima koji koriste simboličku razinu u prikazu kemijske promjene (zadatci 2 i 3 završnog ispita znanja).

Nadalje, učenici tretmanske skupine značajno su bolji od učenika komparabilne skupine u čestičnom prikazu reaktanata i produkta kemijske reakcije te gotovo dvostruko uspješniji u odnosu na vlastiti rezultat u preliminarnon ispitu znanja. Učenici tretmanske skupine značajno su uspješniji u rješavanju zadataka povezanih s konceptom disocijacije anorganskih kiselina,

baza i soli na čestičnoj razini. Provjeravanjem istog koncepta na simboličkoj razini nije utvrđena statistički značajna razlika među skupinama. Također, statistički značajna razlika među skupinama nije utvrđena ni u zadatcima koji su na čestičnoj i simboličkoj razini provjeravali koncept disocijacije slabe organske kiseline.

Pogrešna shvaćanja prepoznata u preliminarnom ispitu znanja dijelom su zadržana i nakon poučavanja, ali znatno manje kod učenika tretmanske skupine. Poteškoće povezane s primjenom kemijske simbolike i kemijskog nazivlja uočene su u učenika obiju skupina. U zadatcima u kojima se tražio simbolički zapis hidroksida, lužine i reakcije neutralizacije te prepoznavanje njihovih čestičnih prikaza nije utvrđena statistički značajna razlika među skupinama. Učenici tretmanske skupine ne razlikuju čestični prikaz natrijeva hidroksida i natrijeve lužine što ukazuje na nerazumijevanje ne samo koncepta disocijacije, već i prikazivanja agregacijskih stanja. Utvrđeno je i pogrešno shvaćanje ionske strukture jakih baza jer značajan broj učenika obiju skupina bira molekulski prikaz natrijeve lužine.

Uočena pogrešna shvaćanja odnose se na nerazumijevanje pojmova atom i molekula, nerazlikovanje jednadžbe kemijske reakcije i reakcijskog sustava, nerazlikovanje stehiometrijskog broja i indeksa te poteškoće povezane s primjenom zakona o očuvanju mase. Učenici komparabilne skupine i u završnom ispitu znanja ne poimaju zapis jednadžbe kemijske reakcije kao jediničnu pretvorbu koja se u reakcijskom sustavu događa mnogo puta ili točnije onoliko puta koliko to određuje mjerodavni reaktant

Iako je tretmanska skupina iskazala bolje konceptualno razumijevanje kemijske promjene prikazane čestičnim crtežom u odnosu na komparabilnu skupinu, rezultati potvrđuju da učenici obiju skupina teže savladavaju čestičnu razinu u odnosu na simboličku razinu.

5.1. Prednosti istraživanja

Većina srodnih obrazovnih istraživanja koristila je četični crtež pri analizi i evaluaciji postojećeg stanja te utvrđivanju pogrešnih shvaćanja učenika u različitim područjima kemije, a samo mali broj istraživanja predlaže metode i postupke kojima bi se unaprijedilo znanje. Stoga je ovo istraživanje doprinijelo ne samo analizi i provjeri konceptualnog znanja učenika već i usvajanju i unapređenju konceptualnog znanja u početnom poučavanju kemije. Većina srodnih istraživanja provedena je na višim razinama formalnog obrazovanja, a mali broj u primarnom obrazovanju.

Nadalje, prednost ovog istraživanja očituje se u relativno velikom uzorku za oblik istraživanja koji uključuje rad s tretmanskom i komparabilnom skupinom. Pri tome je važno istaknuti raznovrsnost ispitanika jer su u istraživanju sudjelovali razredi čiji su učenici različitog socioekonomskog statusa, različitog predznanja i motivacije.

Korištenjem različitih instrumenta, uključujući testove, ankete, intervju i fokusnu grupu prikupljeno je obilje podataka koji su pružili odgovore na postavljena istraživačka pitanja i povećali valjanost i vjerodostojnost rezultata.

U istraživanju su korišteni testovi koji su ispitani standardnim metodama i postupcima za procjenu valjanosti i pouzdanosti te na temelju istih, procijenjeni su kao valjani i pouzdani.

5.2. Ograničenja istraživanja

Uzorak ovog istraživanja je kao i u većini obrazovnih istraživanja neslučajan uzorak koji je obuhvatio samo populaciju velikih hrvatskih gradova. Stoga je generalizacija rezultata proizašlih iz prikupljenih podataka ograničena i nije primjenjiva na sve učenike i učitelje u Republici Hrvatskoj.

Polustrukturirani intervju proveden je na malom broju ispitanika i to nakon poučavanja kemijskih sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli. Provedeno istraživanje nije uključivalo intervjuiranje učenika komparabilne skupine i intervjuiranje prije poučavanja o čemu bi trebalo voditi računa u budućim istraživanjima kako bi se i ovom metodom moglo usporediti konceptualno razumijevanje učenika obiju skupina prije i nakon kvazieksperimentalnog tretmana. Struktura intervjua je oblikovana prema odgovorima učenika na zadatke završnog ispita znanja, pa su se podatci prikupljeni testom i intervjuom međusobno nadopunili čime su umanjena ograničenja intervjua.

Budući se kvazieksperiment odvijao u devet različitih, prostorno udaljenih škola, potpuna kontrola provedbe nije bila moguća iako su učiteljice provele nastavu prema unaprijed pripremljenim nastavnim pripremama.

Također, prije same provedbe kvazieksperimenta nije ispitana kvaliteta nastavničkog razumijevanja čestičnih crteža i temeljnih kemijskih koncepata, a što je moglo utjecati na kvalitetu konceptualnog razumijevanja učenika.

5.3. Implikacije za daljnja istraživanja

Budući su u svijetu, a osobito u Republici Hrvatskoj, istraživanja učinkovitosti primjene čestičnog crteža malobrojna i nedostaju odgovarajuće smjernice za njihovu provedbu u praksi, rezultati ovoga istraživanja predstavljaju značajan doprinos utvrđivanju učinkovitosti primjene ovog nastavnog alata u primarnom obrazovanju. Provedeno istraživanje predstavlja poticaj za daljnja istraživanja učinaka ove nastavne metode kako bi se uočile poteškoće u usvajanju nastavnih sadržaja i dijagnosticirala pogrešna shvaćanja. Rezultati ukazuju na potrebu prilagodbe strategija poučavanja kako bi se postiglo bolje konceptualno razumijevanje temeljnih kemijskih pojmova i služit će kao temelj za daljnja istraživanja u osmišljavanu postupaka i metoda kojima bi se uporabom čestičnog crteža unaprijedilo metodičko znanje.

Pažnju bi trebalo usmjeriti na mogućnost implementacije čestičnog crteža i u drugim područjima poučavanja kemijskih sadržaja vodeći računa da čestični crtež bude znanstveno utemeljen i metodički prilagođen različitim nastavnim temama i konceptima. Velika prednost čestičnog crteža u odnosu na druge nastavne alate je to što ne zahtijeva materijalna ulaganja. Učenicima treba omogućiti crtanje i tumačenje vlastitih crteža za što je u redovnoj nastavi potrebno osigurati dovoljno vremena i to ne na štetu izvođenja pokusa. Uporaba čestičnog crteža treba biti kontinuirana i razvojna kroz sve razine kemijskog obrazovanja pod uvjetom da ograničenja modela ne priječe korisnost navedenog alata. Predložena nastavna metoda može stvoriti dobre temelje za usvajanje sadržajno složenijih i apstraktnijih koncepata na višim razinama obrazovanja.

Čestični crtež javlja se u udžbeničkom materijalu većinom kao popratna slika iako bi se trebao redovno koristiti u aktivnom obliku kao alat za analizu, usvajanje i evaluaciju znanja. Stoga bi autori udžbenika na temelju rezultata provedenog istraživanja trebali implementirati čestični crtež u udžbenički materijal s ciljem unapređenja konceptualnog razumijevanja učenika. Također, rezultati ovog istraživanja ukazuju na potrebu izradbe odgovarajućeg nastavnog kurikula Kemije koji će u okviru prirodoznanstvene pismenosti sustavno uključiti primjenu čestičnog crteža kako bi učenici stekli potrebne prirodoznanstvene kompetencije.

6. POPIS LITERATURE

Adadan, E. (2006). *Promoting high school students' conceptual understandings of the particulate nature of matter through multiple representations.* Doctoral dissertation, The Ohio State University.

Adadan, E. (2014). Investigating the influence of pre-service chemistry teachers' understanding of the particle nature of matter on their conceptual understanding of solution chemistry. *Chemistry Education Research and Practice,* 15: 219–238. doi: 10.1039/c4rp00002a.

Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16-year-old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, 31(6): 757–786. doi: 10.1080/09500690701799383.

Ajduković, M., i Kolesarić, V. (2003). *Etički kodeks istraživanja s djecom.* Vijeće za djecu Vlade Republike Hrvatske. Zagreb, Hrvatska.

Al-Balushi, S. M., Ambusaidi, A. K., Al-Shuaili, A. H., & Taylor, N. (2012). Omani twelfth grade students' most common misconceptions in chemistry. *Science Education International,* 23(3): 221–240.

Amiot, L. M. (2007). *The particulate nature of polyatomic ions: an exploratory study using molecular drawing software.* Doctoral dissertation, Louisiana State University.

Barke, H. D., Doerfler, T., & Knoop, C. (2007). *Neutralisation von Saeuren und Basen: Entwicklung und Evaluation eines Unterrichtskonzepts unter Beruecksichtigung empirisch erhobener Fehlvorstellungen*. Staatsexamensarbeit. Muenster, Germany.

Barke, H. D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconception in chemistry*. Springer. Berlin, Germany.

Barke, H. D. (2012). Two ideas of the redox reaction: mosconceptions and their challenge in chemistry education. *African Journal of* Chemical *Education,* 2(2): 32–50.

Bastić, M. (2011). *Primjena trodimenzionalnog modela u procesu stjecanja znanja o konceptu tvari u osnovnoj školi.* Magistarski rad, Sveučilište u Splitu.

Becker, N., Stanford, C., Towns, M., & Cole, R. (2015). Translating across macroscopic, submicroscopic, and symbolic levels: the role of instructor facilitation in an inquiry-oriented

physical chemistry class. *Chemistry Education Research and Practice,* 16: 769-785. doi: 10.1039/c5rp00064e.

Ben-Zvi, R., Eylon B., & Silberstein J. (1986). Revision of course materials on the basis of research on conceptual difficulties. *Studies in Educational Evaluation*, 12: 213–223.

Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry,* 24; 117–120.

Bergliot Ɵyehaug, A. & Holt, A. (2013). Students' understanding of the nature of matter and chemical reactions – a longitudinal study of conceptual restructuring. *Chemistry Education Research and Practice,* 14: 450–467. doi: 10.1039/c3rp00027c.

Bodner, G. & Domin, D. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education,* 4(1): 24–30.

Bodner, C. A., & Briggs, M. W. (2005). A Model of Molecular Visualization. In J. K. Gilbert, (Ed.): *Visualization in Science Education*. Springer, Dordrecht, Netherland. pp. 90–105.

Bognar, B. (2006). Akcijska istraživanja u školi. *Odgojne znanosti,* 8(1): 209–228.

Bridle, C. A., & Yezierski, E. J. (2012). Evidence for the effectiveness of inquiry-based, particulate-level instruction on conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 89: 192–198.

Briggs, M. W. (2006). Teaching Chemical Equilibrium using a Macro Level Analogy. The 19th Biennial Conference on Chemical Education. (pp. 309-312). West Lafayette, Indian: Purdue University.

Brodie, T., Gilbert, J., Hollins, M., Roper, G., Robson, K., Webb, M., et al. (1994). *Models and modelling in science education* . In Tomlins, B. (Ed.): London, UK: The Association of Science Education.

Brooks, J. G., & Brooks, M. G. (1993). *In search of understanding: The case for classrooms*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.

Chandrasegaran, A. L., Treagust, D. F., & Mocerino, M. (2007). The development of a two tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice,* 8(3): 293–307.

Cheng, M. M. W., & Gilbert, J. K. (2014). Teaching stoichiometry with particulatediagrams - linking macro phenomena and chemical equations. In B. Eilam & J. K. Gilbert (Ed.): *Science Teachers' Use Of Visual Representations.* Springer, Cham, Switzerland. pp.123–143.

Chittleborough, G. D. (2004). *The role of teaching models and chemical representations in developing students' mental models of chemical phenomena.* Doctoral dissertation, Curtin University. Western Australia.

Chittleborough, G., Treagust, D., Mamiala, T. L., & Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science and Technological Education*, 23(2): 195–212.

Chittleborough, G., & Treagust, D. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3): 274–292.

Chittleborough, G., & Treagust D. (2008). Correct interpretation of chemical diagrams requires transforming from one level of representation to another. *Research in Science Education,* 38: 463–482.

Chittleborough, G., & Treagust, D. (2009). Why Models are Advantageous to Learning Science. *Educacion Quimica,* 12–17.

Chiu, M. H., Chou, C. C., & Liu, C. J. (2002). Dynamic processes of conceptual change: Analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(8): 688–712.

Chiu, M. H. (2005). A national survey of students' misconceptions in chemistry in Taiwan. *Chemical Education International,* 6(1). Dostupno s: www.iupac.org/publications/cei.

Christian, B. N., & Yezierski, E. J. (2012). Development and validation of an instrument to measure student knowledge gains for chemical and physical change for grades 6–8. *Chemistry Education Research and Practice,* 13: 384–393. doi: 10.1039/c2rp20041.

Clonnan, C. A., & Hutchinson, J. S. (2011). A Chemistry Concept Reasoning Test. *Chemistry Education Research and Practice,* 12: 205–209.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed.). Routledge. New York, N.Y.

Coll, R. K., & Taylor, N. (2002). Mental models in chemistry: Senior chemistry students mental models of chemical bonding. *Chemistry Education Research and Practice,* 3(2): 175–184.

Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2002). Exploring tertiary students' understanding of covalent bonding. *Research in Science & Technological Education,* 20(2): 241–267. doi: 10.1080/0263514022000030480.

Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2003). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. *Journal of Research in Science Teaching,* 40: 464–486.

Coll, R. K. (2006). The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison, & S. M. Ritchie (Eds.): *Metaphor and analogy in science education.* Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 65–77.

Coll, R. K. (2008). Chemistry Learners' Preferred Mental Models for Chemical Bonding. *Journal of Turkish Science Education,* 5(1): 22–47.

Creswell, J. W. (2003). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (2nd ed.). Sage. Thousand Oaks, California.

Cullen, D. M., & Pentecost, T. C. (2011). A Model Approach to the Electrochemical Cell: An Inquiry Activity. *Journal of Chemical Education,* 88: 1562–1564.

Dass, K., Head, M. L., & Rushton, G. L. (2015). Building an Understanding of How Model-Based Inquiry Is Implemented in the High School Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education,* 92: 1306–-1314. doi: 10.1021/acs.jchemed.5b00191.

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. doi: 10.1039/C005464J.

De Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). Problems in teaching the topic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers. *Journal of Research in Science Teaching,* 32: 1097–1110.

Devetak, I., Drofenik Lorber, E., Juriševič, M., & Glažar, S. (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. doi: 10.1039/b920833j.

Dhindsa, H. S., & Treagust, D. F. (2009). Conceptual understanding of Bruneian tertiary students: Chemical bonding and structure. *Brunei International Journal of Science & Mathematics Education,* 1: 33–51.

Domazet, M. (2009). Društvena očekivanja i prirodo-znanstveno kompetentni učenici. *Sociologija i prostor,* 184(2): 165–185.

Drechsler, M., & Schmidt, H. J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1): 19–35.

Drechsler, M. (2007). *Models in chemistry education*. Universitetstryckeriet. Karlstad, Sweden.

Ebel, R. L., & Frisbie, D. A. (1991). *Essentials of educational measurement* (5. izdanje). Pretince-Hall of India. New Delhi, India. pp. 220–240.

Eilks, I., Leerhoff, G., & Moellering, J. (2002). Seventh-grade Students' Understanding of Chemical Reactions: Reflections from an Action Research Interview Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education,* 4: 271–286.

Fisher, K. (1985). A Misconception in Biology: Amino Acids and Translation. *Journal Of Research In Science Teaching,* 22: 53–62.

Garnett, P., Oliver, N., & Hackling, M. (1998). *Designing interactive multimedia materials to support concept development in beginning chemistry classes.* Paper presented at Sixth International Conference on Computers in Education, Beijing. Dostupno s: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.117.7682&rep=rep1&type=pdf.

Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4): 548–554.

Georgiadou, A. & Tsaparlis, G. (2000). Chemistry Teaching in Lower Secondary School with Methods Based on: A) Psychological Theories; B) The Macro, Representational and Submicro Levels of Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice,* 1(2): 217–226.

Gilbert, J. K. (1977). The study of student misunderstandings in the physical sciences. *Research in Science Education*, 7(1): 165–171.

Gilbert, J. K., & Osborne R. J., (1980). The Use of Models in Science and Science Teaching. *Europian Journal of Science Education*, 2(1): 3–13.

Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.): *Developing models in science education*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 3–17.

Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhleh (Eds.): *Visualization: Theory and Practice in Science Education.* Springer, Dordrecht, Netherlands. pp 3–25.

Gilbert, J. K. (2010). The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(1): Dostupno s: https://www.ied.edu.hk/apfslt/download/v11_issue1_files/foreword.pdf.

Gultepe, N., Celik, A. J., & 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.

Halakova, Z., & Prokša, M. (2007). Two kinds of conceptual problems in chemistry teaching. *Journal of Chemical Education,* 84: 172–174.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education,* 84: 352–381.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. Van Driel (Eds.): *Chemical education: Towards a research-based Practice.* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. pp 189–212.

Hinton, M. E., & Nakhleh M. B. (1999). Students' microscopic, macroscopic, and symbolic representations of chemical reactions. *Chemistry Educator,* 4: 158–167.

Igaz, C., & Prokša, M. (2012). Conceptual Questions and Lack of Formal Reasoning: Are They Mutually Exclusive? *Journal of Chemical Education,* 89: 1243–1248.

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education,* 70: 701–705.

Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry- Logical or Psyhological? *Chemistry Education Research and Practice,* 1(1): 9–15.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Harvard University Press. Cambridge, MA.

Jokić, B. (2008). *Science and Religion in Croatian Elementary Education: Pupils' Attitudes and Perspectives*. Doktorska disertacija, University of Cambridge, United Kingdom.

Jukić, R. (2013). Konstruktivizam kao poveznica poučavanja prirodoznanstvenih i društvenih predmeta. *Pedagogijska istraživanja*, 10 (2): 241–263.

Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4): 369–387. doi: 10.1080/09500690110110142.

Kern, A. L., Wood, N. B., Roehrig, G. L., & Nyachwaya, J. (2010). A qualitative report of the ways high school chemistry students attempt to represent a chemical reaction at the atomic/molecular level. *Chemistry Education Research and Practice,* 11: 165–172. doi: 10.1039/C005465H.

Kelly, R. M., Barrera, J. H., & Mohamed, S. C. (2010). An analysis of undergradute general chemistry students' misconceptions of the submicroscopic level of precipitation reactions. *Journal of Chemical Education,* 87(1): 113–118.

Kimberlin, S., & Yezierski, E. (2016). Effectiveness of Inquiry-Based Lessons Using Particulate Level Models To Develop High School Students' Understanding of Conceptual Stoichiometry. *Journal of Chemical Education,* 93: 1002–1009.

Kovač-Andrić, E., Štiglić, N., i Lopac Groš, A. (2014). *Kemija 7-udžbenik kemije za sedmi razred osnovne škole*. Profil. Zagreb.

Krsnik, R. (2005). Poruke aktuelnih istraživanja o uporabi modela u nastavi fizike, *Zbornik 7. Hrvatski simpozij o nastavi fizike „Uloga modela i modeliranja u suvremenoj nastavi fizike"*. (str.10–18). Split, Hrvatska: Hrvatsko fizikalno društvo.

Krsnik, R. (2008). *Suvremene ideje u metodici nastave fizike*. Školska knjiga. Zagreb.

Lajium, D. A. D. (2013). *Students' mental models of chemical reactions*. Doctoral dissertation, The University of Waikato. Preuzeto 2.5. 2016., dostupno s: http://researchcommons.waikato.ac.nz/bitstream/handle/10289/.../thesis.pdf.

Laugier, A., & Dumon A. (2004). The equation of reaction: a cluster of obstacles which are difficult to overcome. *Chemistry Education Research and Practice,* 5: 327–342. doi: 10.1039/B4RP90030H.

Lee, K. W. L. (1999). A Comparison of University Lecturers'and Pre-service Teachers' Understanding of a Chemical Reaction at the Particulate Level. *Journal of Chemical Education,* 76(7): 1008–1012.

Levi-Nahum, T., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Bar-Dov, Z. (2004). Can Final examinations amplify students' misconceptions in chemistry? *Chemistry Education Research and Practice,* 5(3): 301–325.

Lin, J. W., & Chiu, M. H. (2010). The mismatch between students' mental models of acids/bases and their sources and their teacher's anticipations thereof. *International Journal of Science Education,* 32(12): 1617–1646. doi: 10.1080/09500690903173643.

Liu, X. (2007). Elementary to High School Students' Growth over an Academic Year in Understanding the Concept of Matter. *Journal of Chemical Education,* 84(11): 1853–1856.

Lukša, Ž., Radanović, I., i Garašić, D. (2013). Konceptualni pristup poučavanju uz definiranje makrokonceptnog okvira za biologiju. *Život i škola,* 30(2): 156 –171.

Lukša, Ž., Radanović, I., i Garašić, D. (2013). Očekivane i stvarne miskoncepcije učenika u biologiji, *Napredak,* 154(4): 527–548.

Margel, H., Eylon, B., & Scherz, Z. (2008). A junior high school students' conceptions of the structure of materials*. Journal of Research in Science Teaching,* 45: 132–152.

Marušić, I. (2006). Nastavni programi iz perspektive učenika. U: Baranović, B. (Ur.). *Nacionalni kurikulum za obvezno obrazovanje u Hrvatskoj: različite perspektive*. Institut za društvena istraživanja u Zagrebu, Zagreb. str. 181–218.

Mayer, K. (2011). Addressing Students' Misconceptions about Gases, Mass, and Composition. *Journal of Chemical Education,* 88(1): 111–115.

McClary, L. K., & Talanquer, V. (2011). College Chemistry Students' Mental Models of Acids and Acid Strength. *Journal of Research in Science Teaching,* 48(4): 396–413.

Mejovšek, M. (2005). *Metode znanstvenih istraživanja u društvenim i humanističkim znanostima*. Slap. Jastrebarsko.

Merritt, J. D. (2010). *Tracking Students' Understanding of the Particle Nature of Matter.* Doctoral dissertation, The University of Michigan, Michigan.

Milenković, D., D. (2014). *Razvoj i evaluacija instrukcione strategije zasnovane na tripletnom modelu reprezentacije sadržaja neorganske hemije u srednjoškolskom obrazovanju.* Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija.

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta. (2006). *Nastavni plan i program za osnovnu školu.* Gipa, Zagreb.

Mitra, N. K., Nagaraja, H. S., Ponnudurai, G., & Judson, J. P. (2009). The levels of difficulty and discrimination indices in type a multiple choise questions of preclinical semester 1 multidisciplinary summative tests. *International e-Journal of Science, Medicine and Education*, 3(1): 2–7.

Mrvoš-Sermek, D., Tašner, M. i Radanović, I. (2009). Učeničko razumijevanje temeljnih kemijskih koncepcija. (ur. Novak, P.) *XXI. Hrvatski skup kemičara i kemijskiih inženjera, Knjiga sažetaka,* 317–317. Kutina: Petrokemija d.d.

Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education,* 79(6): 739–744.

MZOS (2005). HNOS za 7. i 8. razred osnovne škole, predmet: Kemija. Preuzeto 10.4.2016., dostupno s: http://public.mzos.hr/Default.aspx?art=7064&sec=2234.

Mužić, V. (2004). *Uvod u metodologiju istraživanja odgoja i obrazovanja*. Educa 64, Zagreb.

Naah, B. M. & Sanger, M. J. (2012). Student misconceptions in writing balanced equations for dissolving ionic compounds in water. *Chemistry Education Research and Practice,* 13: 186–194.

Nacionalni okvirni kurikulum. (2011). Preuzeto 1.5.2016., dostupno s: http://public.mzos.hr/fgs.axd?id=18247.

Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja, (2012). *TIMSS 2011. izvješće o postignutim rezultatima iz prirodoslovlja.* Agencija za komercijalnu djelatnost d.o.o., Zagreb.

Nakhleh, M. B. (1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? *Journal of Chemical Education,* 72(1): 52–55.

Nakhleh, M. B. (1994). Students' Models of Matter in the Context of Acid-Base Chemistry. *Journal of Chemical Education,* 71(6): 495–499.

Nelson, P. G. (2002). Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chemistry Education Research and Practice,* 3(2): 215–228.

Nelson, P. G. (2003). Bacic chemical concepts. *Chemistry Education Research and Practice,* 4(1): 19–24.

Nurrenbern, S. C., & Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education,* 64: 508–510.

Nurrenbern, S. C. & Robinson, W. R. (1998). Conceptual Questions and Challenge Problems. *Journal of. Chemical Educ*ation, 75: 1502–1503.

Nyachwaya, J. M., Mohamed, A. R., Roehrig, G. H., Wood, N. B., Kern A. L., & Schneiderd, J. L. (2011). The development of an open-ended drawing tool: An alternative diagnostic tool for assessing students' understanding of the particulate nature of matter. *Chemistry Education Research and Practice,* 12**:** 121–132. doi: 10.1039/C1RP90017J.

Nyachwaya, J. M. (2012*). College Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter Across Reaction Types*. Doctoral dissertation, The University of Minnesota. Minnesota.

Nyachwaya, J. M., Warfa, A. R., Roehrig G. H., & Schneiderd, J. L. (2014). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice,* 15: 81–93. doi: 10.1039/c3rp00114h.

Onwu, G. O. M., & Randall, E. (2006). Some aspects of students' understanding of a representational model of the particulate nature of matter in chemistry in three different countries. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(4): 226–239.

Ozalp, D. & Kahveci, A. (2015). Diagnostic assessment of student misconceptions about the particulate nature of matter from ontological perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 16: 619–639. doi: 10.1039/c5rp00096c.

Ozmen, H., & Ayas, A. (2003). Students' difficulties in understanding of the conservation of matter in open and closed-system chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(3): 279–289.

Papageorgiu, G., & Sakka, D. (2000). Primary school teachers' views on fundamental chemical concept. *Chemistry Education Research and Practice,* 1(2): 237–247.

Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. International University Press. New York, N.Y.

Piaget, J. (1970). *Genetic epistemology*. The Norton Library. New York, N. Y.

Pickering, M. (1990). Further Studies on Concept Learning versus Problem Solving. *Journal of Chemical Education*, 67(3): 254–255.

Poljak, V. (1991). *Didaktika*. Školska knjiga, Zagreb.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change. *Science Education,* 66(2): 211 – 227.

Prilliman, S. (2014). Integrating particulate representations into AP chemistry and introductory chemistry courses. *Journal of Chemical Education*, 91: 1291−1298.

Read, J. R. (2004). Children's Misconceptions and Conceptual Change in Science Education. Dostupno s: http://acell.chem.usyd.edu.au/Conceptual-Change.cfm.

Rutherford, J., & Ahlgren, A. (1990), *Science for All Americans.* Oxford University Press. N.Y.

Ryan, S., & Herrington, D. (2014). Sticky ions: A student-centered activity using magnetic models to explore the dissolving of ionic compounds. *Journal of Chemical Education,* 91: 860−863.

Sanger, M. J. (2000). Using particulate drawings to determine and improve students' conceptions of pure substances and mixtures. *Journal of Chemical Education,* 77**:** 762–766.

Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education,* 82: 131–134.

Sanger, M. J., Vaughn, C. K., & Binkley, D. A. (2013). Concept learning versus problem solving: Evaluating a threat to the validity of a particulate gas law question. *Journal of Chemical Education*, 90(6): 700–709.

Sawrey, B. A. (1990). Concept learning vs. problem solving: Revisited. *Journal of Chemical Education,* 67: 253–264.

Sikirica, M. (2003). *Metodika nastave kemije*. Školska knjiga. Zagreb.

Sikirica, M. (2004). Učenje otkrivanjem. U N. Raos (Ur.): *Nove slike iz kemije.* Školska knjiga. Zagreb. str. 219–240.

Silberberg, M. S. (2008). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change*. McGraw-Hill, 4th ed.. New York, NY.

Singer, J. E., & Wu, H. (2003). Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter. *School Science and Mathematics*, 103(1): 28–44.

Skemp, R. R. (1989). *Mathematics in the primary school.* Taylor & Francis. London, England.

Smith, E. L., & Anderson, C. W. (1984.). Plants as producers: a case study of elementary science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 21: 685–698.

Smith, K. C. & Villarreal, S. (2015). Using animations in identifying general chemistry students' misconceptions and evaluating their knowledge transfer relating to particle position in physical changes. *Chemistry Education Research and Practice*, 16: 273–282. doi: 0.1039/c4rp00229f.

Stains, M., & Talanquer, V. (2007). Classification of chemical substances using particulate representations of matter: An analysis of student thinking. *International Journal of Science Education*, 29(5): 643–661.

Stains, M., Escriu-Sune, M., Alvares de Santizo, M. L. M., & Sevian, H. (2011). Assessing Secondary and College Students' Implicit Assumptions about the Particulate Nature of Matter: Development and Validation of the Structure and Motion of Matter Survey. *Journal of Chemical Education*, 88: 1359–1365.

Strmčnik, F. (2001). *Didaktika: Osrednje teoretične teme.* Znanstveni inštitut Filozofske fakultete. Ljubljana, Slovenija.

Suckling, C. J., Suckling, K. E., & Suckling, C. W. (1978). *Chemistry through models: Concepts and application of modelling in chemical science, technology and industry*. Cambridge University Press. London, UK.

Sunyono, Yuanita, L. & Ibrahim, M. (2015). Mental models of students on stoichiometry Concept in learning by method based on multiple representation. *The Online Journal of New Horizons in Education*, 5(2): 30–45.

Šimičić, S., i Mrvoš-Sermek, D. (2016). Analiza uloge čestičnog crteža u nastavi kemije i njegova primjena za unapređenje konceptualnog znanja. *Napredak*, 157(1): 91–104.

Taber, K. (2001). Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research. *Chemistry Education Research and Practice*, 2(2)**:** 123–158.

Taber, K. (2002a). *Chemical misconceptions-prevention, diagnosis and cure, Volume I: theoretical background.* Royal Society of Chemistry. London, England.

Taber, K. (2002b). *Chemical misconceptions-prevention, diagnosis and cure, Volume II classroom resources.* Royal Society of Chemistry. London, England.

Taber, K. (2009). Challenging Misconceptions in the Chemistry Classroom Resources to Support Teachers. *Educació Química*, 4: 13–20.

Taber, K. & Garcia-Franco, A. (2010). Learning Processes in Chemistry: Drawing Upon Cognitive Resources to Learn About the Particulate Structure of Matter. *Journal of the Learning Sciences,* 19*:* 99–142. doi: 10.1080/10508400903452868.

Tamir, P., (1971). An alternative approach to the construction of multiple-choice test items. *Journal of Biological Education,* 5: 305–307.

Talanquer, V. (2006). Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions. *Journal of Chemical Education,* 83(5): 811–816.

Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education,* 33(2): 179–195.

Talanquer, V. (2012). Chemistry education: ten dichotomies we live by. *Journal of Chemical Education,* 89(11): 1340–1344.

Talanquer, V. (2013). How Do Students Reason About Chemical Substances an Reactions? *Concepts of Matter in Science Education.* Springer, Dordrecht, Netherlands. pp 331–346.

Tanner, K., & Allen, D. (2005.) Approaches to Biology Teaching and Learning: Understanding the Wrong Answers–Teaching toward Conceptual Change. *Cell Biology Education*, 4: 112–117.

Tarrant, M., Ware, J., & Mohammed, A. M. (2009). An assessment of functioning and non-functioning distractors in multiple-choice questions: A descriptive analysis. *BMC Medical Education,* 9(1): 40–48.

Tkalac Verčić, A., Sinčić Ćorić, D., i Pološki Vokić, N. (2010). *Priručnik za metodologiju istraživačkog rada*. M.E.P. d.o.o. Zagreb, Hrvatska.

Tóth, Z., & E. Kiss, E. (2006). *Practice and Theory in Systems of Education,* 1: 109–125.

Treagust, D. F. (2006), Diagnostic assessment in science as a means to improving teaching, learning and retention. *UniServe Science – Symposium Proceedings: Assessment in science teaching and learning.* Uniserve Science, Sydney, Australia. pp. 1–9.

Tsai, C. C. (1999). Overcoming junior high school students' misconceptions about the microscopic views of phase change: A study of an analogy activity. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1): 83–91.

Tsaparlis, G. (2009). Learning at the macro level: the role of practical work. In J.K. Gilbert & D.F. Treagust (Ed.): *Multiple representations in chemical education.* Springer, Berlin, Germany. pp 109–136.

Vizek-Vidović, V., Rijavec, M., Vlahović-Štetić, V., Miljković, D. (2003). *Psihologija obrazovanja*. IEP. VERN, Zagreb.

Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2007). *Chemistry*. Houghton Mifflin Company, 7th ed. Boston. Massachusetts.

Wang, J. R. (2004). Development and validation of a two-tier instrument to examine understanding of internal transport in plants and the human circulatory system. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2: 131–157.

Wang, C. Y. (2007). *The role of mental-modeling, content knowledge, and mental models in general chemistry students' understanding about molecular polarity*. Doctoral dissertation, University of Missouri, Columbia.

Warfa, A. R. M. (2013). *Student Conceptions of Ionic Compounds in Solution and the Influences of Sociochemical Norms on Individual Learning*. Doctoral dissertation, The University of Minnesota, Minnesota.

Warfa, A. R. M., Roehrig, G. H., Schneider, J. L., & Nyachwaya, J. (2014). Role of teacher initiated discourses in students' development of representational fluency in chemistry: A case study. *Journal of Chemical Education*, 83(5): 741−748.

Wood, C., & Breyfogle, B. (2006). Interactive demonstrations for mole ratios and limiting reagents. *Journal of Chemical Education*, 91: 784−792.

Yarroch, W. L.(1985). Student understanding of chemical equation balancing. *Journal of Research in Science Teaching*, 22: 449–459.

Yayla, R. G. & Eyceyurt, G. (2011). Mental models of pre-service science teachers about basic concepts in chemistry. *Western Anatolia Journal of Educational Sciences*, 285–294.

Yitbarek, S. (2011). Chemical reaction: Diagnosis and towards remedy of misconceptions. *African Journal of Chemical Education*, 1(1): 10–28. Dostupno s: htpp://www.ajol.info/index.php/ajce/article/viewFile/82523/72678.

Zoller, U. (2000). Interdisciplinary systemic HOCS development-The key for meaningful STES oriented chemical education. *Chemistry Education Research and Practice*, 1(2): 189–200.

7. SADRŽAJ PRILOGA

1. Anketa 1 (za učiteljice)
2. Anketa 2 (za učiteljice)
3. Popratni materijali učiteljicama za provedbu ispita
4. Preliminarni ispit znanja (PIZ)
5. Završni ispit znanja (ZIZ)
6. Rješenja i bodovanje preliminarnog ispita znanja (PIZ)
7. Rješenja i bodovanje završnog ispita znanja (ZIZ)
8. Pripreme za nastavu (I. – V.) s popratnim materijalima

PRILOG 1.

Poštovane učiteljice!
Molimo Vas da popunite anketni list koji se odnosi na provođenje istraživanja iz kemije.

ANKETA 1 *(za učiteljice)*

1. Spol: **M** **Ž**

2. Godine radnog staža u nastavi: _____

3. Stručna sprema : _____

4. Zvanje: a) učitelj b) učitelj mentor c) učitelj savjetnik

5. Didaktičke strategije i metode koje ste koristili pri obradi i ponavljanju nastavnih sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli.

_____
_____
_____
_____
_____
_____.

6. Nastavna sredstva koja ste koristili pri obradi i ponavljanju nastavnih sadržaja o vodenim otopinama kiselina, baza i soli.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____.

7. Ovdje navedite svoja zapažanja (reakcije učenika, nejasnoće, nedostatak vremena za rješavanje ispita i druge eventualne poteškoće pri provođenju ispitivanja (pisane provjere znanja).

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____.

(Anketno pitanje 8 popunjavaju učitelji/učiteljice koji su bili u tretmanskim skupinama)

8. Ovdje navedite svoja zapažanja (reakcije učenika, nejasnoće, nedostatak vremena za primjenu ove didaktičke strategije i druge eventualne poteškoće pri provođenju kvazieksperimenta).

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____.

9. Ukoliko želite još nešto dodati napišite ovdje.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____.

HVALA NA SURADNJI!

PRILOG 2.

Poštovane učiteljice!
Molimo Vas da popunite anketni list koji se odnosi na provođenje istraživanja iz kemije.

ANKETA 2 *(za učiteljice)*

1. Spol: **M** **Ž**

2. Godine radnog staža u nastavi: _____

3. Stručna sprema : _____

4. Zvanje: a) učitelj b) učitelj mentor c) učitelj savjetnik

5. Ovdje navedite svoja zapažanja (reakcije učenika, nejasnoće, nedostatak vremena za rješavanje ispita i druge eventualne poteškoće pri provođenju ZIZ-a).

_____

_____

_____

_____

_____.

(Anketno pitanje 6 popunjavaju učiteljice koje su bile u tretmanskim skupinama.)
6. Jeste li učenike podsjetili na nastavne sadržaje o vodenim otopinama kiselina, baza i soli prije provedbe ZIZ-a?.

_____

_____

_____

_____

_____.

7. Ukoliko želite još nešto dodati napišite ovdje.

_____

_____

_____

_____

_____.

HVALA NA SURADNJI!

PRILOG 3.

UPUTE ZA UČITELJICE PRI PROVOĐENJU ISPITIVANJA:

1. Na početku sata učenicima podijelite ispite. Za rješavanje ispita učenici na raspolaganju imaju 40 minuta. Naglasite da prije početka rješavanja ispita popune potrebne podatke (spol, pripadaju li tretmanskoj ili komparabilnoj skupini, ocjenu iz kemije na kraju sedmog razreda).

2. Napišite za svaki razred (na kovertu) datum rješavanja testa, vrijeme kada su učenici pisali ispit (npr. jutarnji turnus 1. sat) i/ili točno vrijeme pisanja (npr. od 8:00 do 8:45)

3. Na kraju Vas molim da popunite priloženu anketu.

4. Sve prikupljene materijale pohranite u priloženu kovertu.

PRILOG 4. PRELIMINARNI ISPIT ZNANJA (PIZ)

PISANA PROVJERA USVOJENOSTI TEMELJNIH KEMIJSKIH KONCEPATA

(JEDNADŽBA KEMIJSKE REAKCIJE)

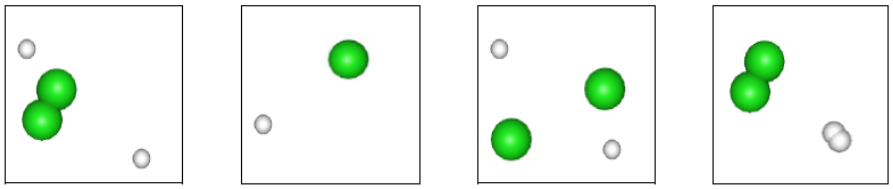
Spol: M – Ž Konačna ocjena iz nastavnog predmeta kemija na kraju 7. razreda: ____

Zadatak 1

Reakcijom vodika i klora nastaje klorovodik. Opisana promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije: **$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2\ HCl(g)$**

Legenda: model atoma vodika model atoma klora

1A Koji čestični crtež ispravno prikazuje **reaktante** u gore navedenoj jednadžbi kemijske reakcije? Zaokruži slovo uz točan crtež.

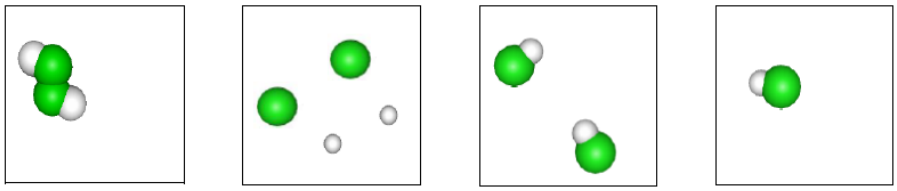


A **B** **C** **D**

Obrazloži svoj izbor. _____

_____.

1B Koji čestični crtež ispravno prikazuje **produkte** u gore navedenoj jednadžbi kemijske reakcije? Zaokruži slovo uz točan crtež.



A **B** **C** **D**

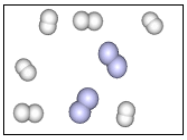
Obrazloži svoj izbor. _____

_____.

Zadatak 2

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

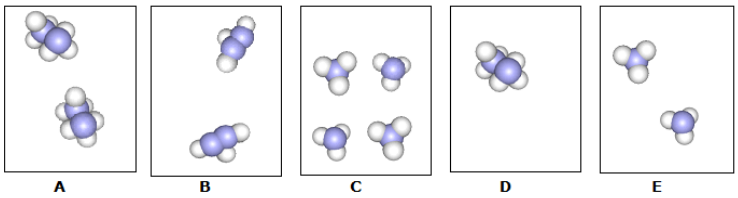
Legenda: model atoma dušika model atoma vodika



Pretpostavi da su prikazane tvari u potpunosti reagirale u promjeni opisanoj jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightarrow 2\ NH_3(g)}$$

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



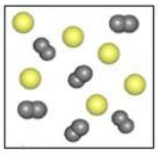
Obrazloži svoj izbor. _____

_____.

Zadatak 3

Čestični crtež prikazuje **reaktante**, S i O_2 u zatvorenoj posudi.

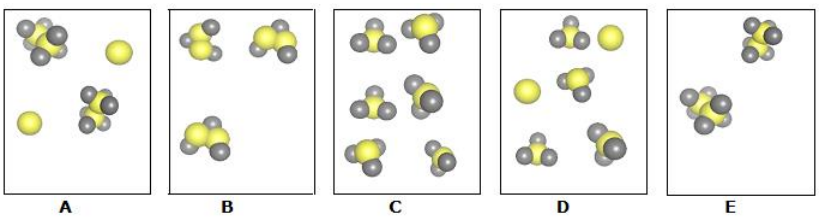
Legenda: model atoma sumpora model atoma kisika



Pretpostavi da su prikazane tvari u potpunosti reagirale u promjeni opisanoj jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{2\ S + 3\ O_2 \rightarrow 2\ SO_3}$$

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



Obrazloži svoj izbor. _____

_____.

Zadatak 4

Gorenjem tvari koje sadrže ugljik uz nedovoljan pristup zraka nastaje otrovni plin ugljikov monoksid, CO. Zapaljen gori, pri čemu nastaje ugljikov dioksid, CO_2. Opisana promjena može se prikazati sljedećom jednadžbom kemijske reakcije :

$$\mathbf{2\ CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g)}$$

Legenda:  model atoma ugljika  model atoma kisika

Rabeći čestični crtež u prazne pravokutnike ucrtaj **reaktante** i **produkte** prema gore napisanoj jednadžbi kemijske reakcije.



Obrazloži svoj crtež. _____

_____

_____.

PRILOG 5. ZAVRŠNI ISPIT ZNANJA (ZIZ)

PISANA PROVJERA USVOJENOSTI TEMELJNIH KEMIJSKIH KONCEPATA

(JEDNADŽBA KEMIJSKE REAKCIJE; OTOPINE KISELINA, BAZA I SOLI)

Spol: M – Ž **Konačna ocjena iz nastavnog predmeta kemija na kraju 7. razreda: ___**

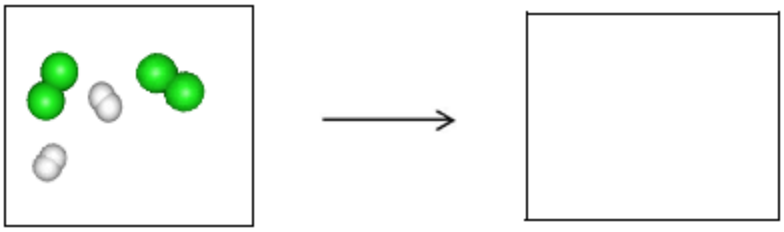
Tretmanska skupina… ☐ **Komparabilna skupina…** ☐ **Broj bodova _____**

---

1. Reakcijom vodika i klora nastaje klorovodik. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije: $\mathbf{H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2\ HCl(g)}$

Legenda:  model molekule vodika  model molekule klora

Rabeći čestični crtež u prazan pravokutnik ucrtaj točan broj molekula produkta uz pretpostavku da su tvari u reakcijskom sustavu potpuno reagirale.



2. U mitohondrijima stanica oksidacijom glukoze nastaju ugljikov(IV) oksid i voda. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{C_6H_{12}O_6(s) + 6\ O_2(g) \rightarrow 6\ CO_2(g) + 6\ H_2O(l)}$$

Izračunaj broj molekula kisika potrebnih za reakciju jednog milijuna molekula glukoze.

_____

3. Oksidacijom kalcija nastaje kalcijev oksid. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije: $\mathbf{2\ Ca(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ CaO(s)}$

U reakcijskom sustavu prije početka reakcije nalazilo se dvostruko više molekula kisika nego atoma kalcija.

A Jedinke kojeg reaktanta potpuno izreagiraju u kemijskoj reakciji? _____

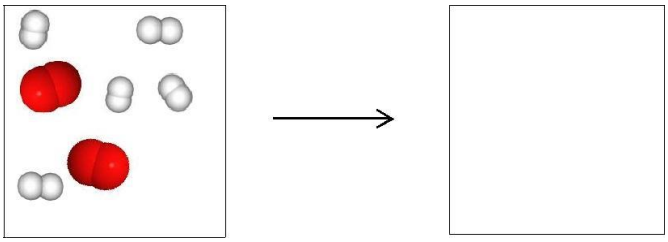
B Dio jedinki kojeg reaktanta nakon kemijske reakcije ostaje neizreagiran? _____

4. Reakcijom vodika i kisika nastaje voda. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{2\ H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ H_2O(l)}$$

Legenda: model molekule vodika model molekule kisika

Rabeći čestični crtež u prazan pravokutnik ucrtaj sastav reakcijskog sustava nakon kemijske reakcije.

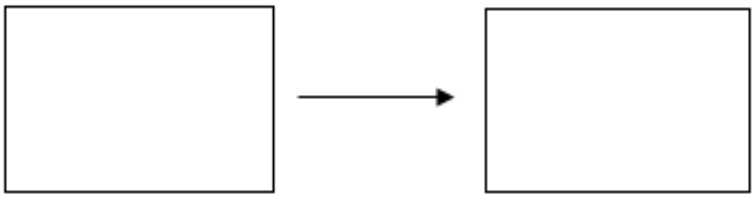


5. Amonijak, $NH_3(g)$, bezbojan je plin, oštrog, karakterističnog mirisa. Proizvodi se Haber-Boschovim postupkom u kojem vodik u prisutnosti katalizatora reagira s dušikom. Opisana kemijska promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{N_2(g) + 3\ H_2(g) \rightarrow 2\ NH_3(g)}$$

Legenda: model atoma dušika model atoma vodika

Rabeći čestični crtež u prazne pravokutnike ucrtaj **reaktante** i **produkte** prema gore napisanoj jednadžbi kemijske reakcije.

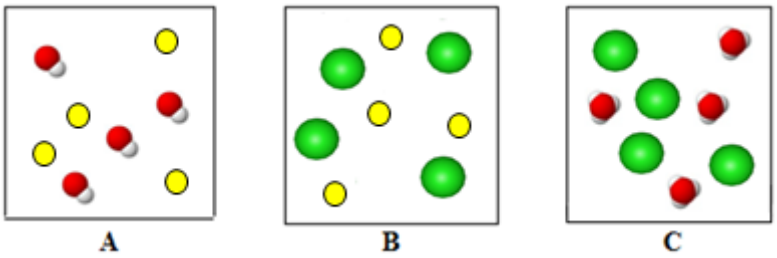


6. Prikaži jednadžbom disocijaciju sljedećih tvari u vodi:

A $HCl + H_2O \rightarrow$ _____
B $KOH \rightarrow$ _____
C $NaCl \rightarrow$ _____

7. Crteži **A, B i C** prikazuju sastav triju vodenih otopina: **klorovodične kiseline**, **natrijeve lužine** i **natrijeva klorida**. Na praznu crtu ispod crteža napiši nazive pripadne otopine. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.

Legenda: model natrijevog iona, model kloridnog iona, model atoma vodika, model atoma kisika



A _____ **B** _____ **C** _____

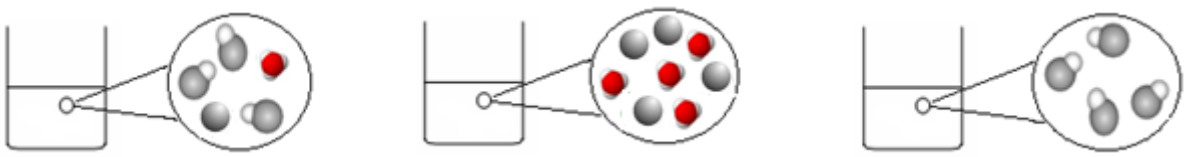
U sljedećim zadatcima zaokruži slovo ispred **točnoga** odgovora.

8. Koja tvrdnja opisuje vodenu otopinu neke slabe kiseline?

A Sadrži samo nedisocirane molekule kiseline.
B Sadrži jednak broj nedisociranih i disociranih molekula kiseline.
C Broj nedisociranih molekula znatno je veći od broja disociranih molekula.
D Broj nedisociranih molekula znatno je manji od broja disociranih molekula.

9. Koji crtež prikazuje vodenu otopinu octene kiseline, CH_3COOH? Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule vode koje okružuju prikazane čestice. Zaokruži slovo uz točan crtež.

Legenda: model oksonijevog iona, model acetatnog iona, model molekule octene kiseline



A **B** **C**

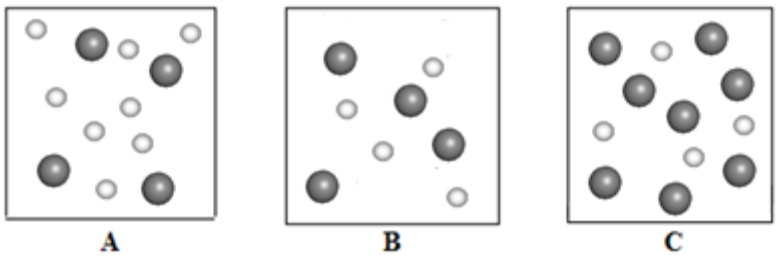
Obrazloži izbor jednom rečenicom. _____
_____.

10. Koji od navedenih zapisa prikazuje jednadžbu kemijske reakcije neutralizacije?

A $H_3O^+ + OH^- \rightarrow H_2O$
B $H_2O + OH^- \rightarrow H_3O^+$
C $H_2O + H_3O^+ \rightarrow 2\ OH^-$
D $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2\ H_2O$

11. Crteži prikazuju otopine soli u kojima **K** označava kation, a **A** anion. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.

Legenda: ○ model kationa **K** ● model aniona **A**



Pridruži navedenim tipovima soli slovo odgovarajućeg crteža vodene otopine soli.

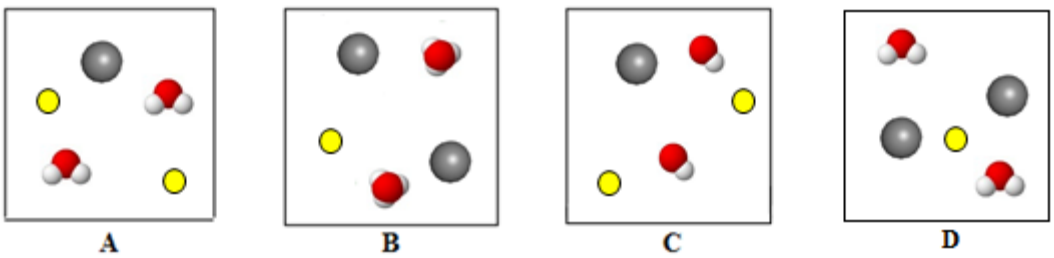
KA _____ **KA_2** _____ **K_2A** _____

12. Jednadžbom kemijske reakcije prikaži neutralizaciju natrijeve lužine sumpornom kiselinom.

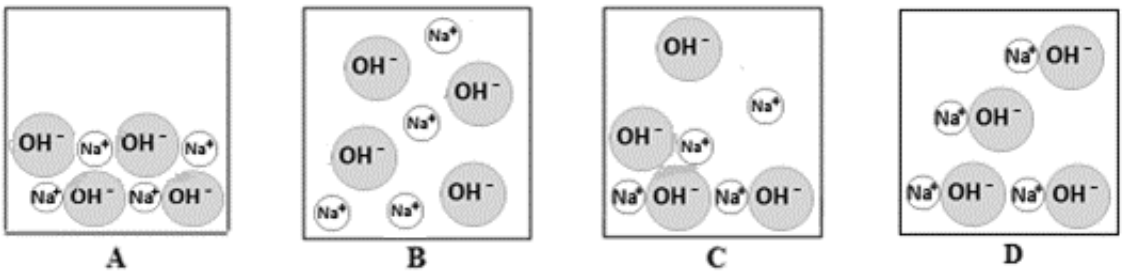
_____ + _____ → Na_2SO_4 + _____

Koji od sljedećih crteža prikazuje **produkte** ove kemijske reakcije? Zaokruži slovo uz točan crtež.

Legenda: ○ model natrijevog kationa ○ model atoma vodika ● model sulfatnog aniona ● model atoma kisika



13. Prouči sljedeće čestične crteže i odgovori na postavljena pitanja.



A Koji crtež predstavlja natrijev hidroksid? _____

B Koji crtež predstavlja natrijevu lužinu? _____

C Napiši kemijsku formulu natrijeva hidroksida. Označi agregacijsko stanje. _____

D Napiši kemijsku formulu natrijeve lužine. Označi agregacijsko stanje. _____

PRILOG 6.

RJEŠENJA I BODOVANJE PRELIMINARNOG ISPITA ZNANJA (PIZ)

(JEDNADŽBA KEMIJSKE REAKCIJE)

ZADATAK	RJEŠENJE	OBRAZLOŽENJE I BODOVI
1.A	D Obrazloženje odgovora	**1 bod** **1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
1.B	C Obrazloženje odgovora	**1 bod** **1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
2.	C Obrazloženje odgovora	**1 bod** **1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
3.	D Obrazloženje odgovora	**1 bod** **1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
4.	crtež u kojem su reaktanti 2 molekule ugljikova monoksida i molekula kisika, a produkti 2 molekule ugljikova dioksida obrazloženje crteža	točno nacrtana molekula ugljikova monoksida **1 bod**, točan broj molekula ugljikova monoksida **1 bod**, točno nacrtana molekula kisika **1 bod**, točan broj molekula kisika **1 bod**, točno nacrtana molekula ugljikova dioksida **1 bod**, točan broj molekula ugljikova dioksida **1 bod**, **1 bod** ***(ukupno 7 bodova)***
UKUPNO: 15 bodova		

PRILOG 7.

RJEŠENJA I BODOVANJE ZAVRŠNOG ISPITA ZNANJA (ZIZ)

(JEDNADŽBA KEMIJSKE REAKCIJE; VODENE OTOPINE KISELINA, BAZA I SOLI)

ZADATAK	RJEŠENJE	OBRAZLOŽENJE I BODOVI
1.	crtež 4 molekule klorovodika	točno nacrtana molekula klorovodične kiseline **1 bod** točan broj molekula klorovodične kiseline **1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
2.	6 milijuna	**1 bod**
3.	A) kalcija B) kisika	**A) 1 bod,** **B) 1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
4.	crtež 4 molekule vode i 1 molekule vodika	točno nacrtana molekula vode **1 bod**, točan broj molekula vode **1 bod**, točan broj molekula vodika **1 bod**, ***(ukupno 3 boda)***
5.	crtež u kojem su reaktanti molekula dušika i 3 molekule vodika, a produkti 2 molekule amonijaka	točno nacrtana molekula dušika **1 bod**, točan broj molekula dušika **1 bod**, točno nacrtana molekula vodika **1 bod**, točan broj molekula vodika **1 bod**, točno nacrtana molekula amonijaka **1 bod**, točan broj molekula amonijaka **1 bod**, ***(ukupno 6 bodova)***
6.	A) $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$ priznati i jednadžbu kemijske reakcije disocijacije u kojoj je oksonijev ion zamjenjen vodikovim kationom B) $KOH \rightarrow K^+ + OH^-$ C) $NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$	**A) 1 bod** **B) 1 bod,** **C) 1 bod** ***(ukupno 3 boda)***

7.	A) otopina natrijeve lužine B) otopina natrijeva klorida C) otopina klorovodične kiseline	**A) 1 bod,** **B) 1 bod,** **C) 1 bod** ***(ukupno 3 boda)***
8.	C	**1 bod**
9.	A, octena kiselina je slaba kiselina u čijoj je otopini mali broj disociranih molekula	**1 bod** **1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
10.	D	**1 bod**
11.	A) K_1A_1 crtež B B) K_1A_2 crtež C C) K_2A_1 crtež A	**A) 1 bod,** **B) 1 bod,** **C) 1 bod** ***(ukupno 3 boda)***
12.	$H_2SO_4 + 2\ NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2\ H_2O$ crtež A	**JKR 1 bod** **izbor crteža 1 bod** ***(ukupno 2 boda)***
13.	A) A B) B C) NaOH(s) D) NaOH(aq)	**A) 1 bod,** **B) 1 bod,** **C) 1 bod,** **D) 1 bod** ***(ukupno 4 boda)***
UKUPNO: 33 boda		

PRILOG 8.

Napomena: Aktivnosti učenika tretmanske skupine u pripremama označene su slovom **T**, a aktivnosti komparabilne skupine slovom **K**.

PISANA PRIPREMA

Obrazovni ishodi koji su realizirani na prethodnim satovima kemije:
- izvesti pokuse oksidacije sumpora i reakcije sumporova(IV) oksida i vode
- ispitati svojstava sumporova(IV) oksida
- jednadžbama obrazložiti kemijske reakcije sumpora s kisikom te nastalih oksida s vodom

NASTAVNA TEMA: **NEMETALI**	BROJ SATA: **5. i 6.**
NASTAVNA JEDINICA: **KISELINE I NJIHOVA SVOJSTVA**	TIP SATA: obrada

KLJUČNI POJMOVI: kiseline, vodikov (oksonijev) ion

CILJ SATA: Objasniti građu i svojstva kiselina te njihovu disocijaciju u vodi.

OBRAZOVNI ISHODI:
- definirati pojam kiseline
- opisati građu kiselina
- prikazati kemijskim formulama molekule nekih osnovnih kiselina
- čestičnim crtežom prikazati nastanak klorovodične kiseline
- opisati nastanak oksonijevog iona
- pravilno razrjeđivati jake kiseline vodom
- čestičnim crtežima prikazati vodene otopine jakih i slabih kiselina
- odrediti pH-vrijednost otopina i objasniti smjer porasta kiselosti na pH-ljestvici

Potrebno pripremiti:
1. Posuđe, pribor i kemikalije: Petrijeva zdjelica, kapalica, čaše od 100 mL, menzura od 10 mL, stakleni štapić, termometar, octena kiselina, limunov sok, limunska kiselina, sok naranče, šećer, drvo, pamučna tkanina, vata, papir, koncentrirana sumporna kiselina, gazirana mineralna voda, plavi lakmus papir, univerzalni indikatorski papir, voda.
2. Ostali materijali: bilježnica, udžbenik i radna bilježnica, ploča i krede u boji, čestični crteži (ppt)

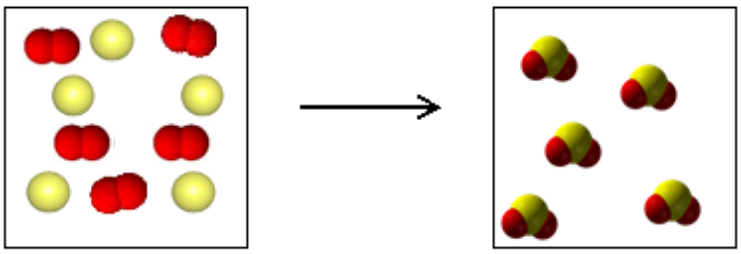
Planirane aktivnosti za ostvarivanje teme

KISELINE I NJIHOVA SVOJSTVA

K; T Ukratko ponoviti riječima pokuse obrađene na prethodnom nastavnom satu: gorenje sumpora i reakciju sumprova(IV) oksida i vode.

T Nastavnik čestičnim crtežom prikazuje oksidaciju sumpora. Učenici analiziraju crtež, cijeli razred diskutira i dijeli svoja mišljenja.

Legenda: model atoma sumpora model molekule kisika model molekule sumporova(IV) oksida



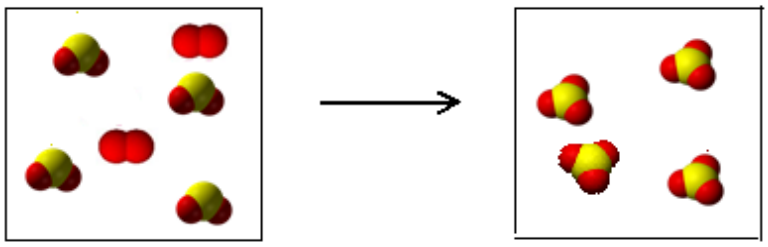
Na temelju čestičnog crteža učenici zapisuju jednadžbu kemijske reakcije.

T $5\ S(s) + 5\ O_2(g) \rightarrow 5\ SO_2(g)\ /:5$

K; T $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$

T Nastavnik čestičnim crtežom prikazuje oksidaciju sumporova(IV) oksida. Učenici analiziraju crtež.

Legenda: model molekule kisika model molekule sumporova(IV) oksida model molekule sumporova(VI) oksida



Na temelju čestičnog crteža učenici zapisuju jednadžbu kemijske reakcije.

T $4\ SO_2(g) + 2\ O_2(g) \rightarrow 4\ SO_3(g)\ /:2$

K; T $2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ SO_3(g)$

K; T Učenici samostalno zapisuju primjer oksidacije ugljika i na temelju svih primjera oksidacije nemetala uopćavaju izraz.

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

NEMETAL + KISIK→ NEMETALNI OKSID

K; T Svaka skupina učenika ispituje plavim lakmusovim papirom svojstvo kiselosti dviju kiselina iz domaćinstva (octena kiselina, limunov sok, limunska kiselina, sok naranče i sl.). Rezultate pokusa učenici diskutiraju prvo u skupinama, a potom cijeli razred.

K; T U skupinama učenici ispituju svojstva koncentrirane sumporne kiseline. Skupinama se podijele različite tvari (papir, drvo, šećer, vata, pamučna tkanina) na koje nastavnik dokapa kap koncentrirane sumporne kiseline. Učenici zapisuju opažanja i prodiskutiraju ih u skupinama. Predstavnik skupine izlaže pokus cijelom razredu.

Koncentrirana sumporna kiselina: - organske tvari razlaže na ugljik i vodu

- jako dehidratacijsko sredstvo jer drugim tvarima „oduzima“ vodu

K; T Nastavnik zapisuje primjere reakcije nemetalnih oksida i vode. Na temelju prikazanih primjera učenici uopćavaju izraz.

$$SO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_3(aq)$$

$$SO_3(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_4(aq)$$

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2CO_3(aq)$$

OPĆENITO: NEMETALNI OKSID + VODA → KISELINA

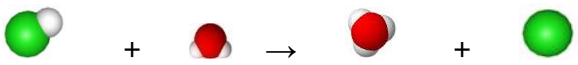
K; T Nastavnik zapisuje kemijske formule kiselina na temelju kojih učenici uz pomoć nastavnika zaključuju o građi molekula.

HCl	klorovodična kiselina
HBr	bromovodična kiselina
HNO_3	dušična kiselina
H_2SO_3	sumporasta kiselina
H_2SO_4	sumporna kiselina
H_2CO_3	ugljična kiselina
H_3PO_4	fosforna kiselina

Građa kiselina → jedan ili više atoma vodika

Građa kiselina → atom nemetala ili nemetalna skupina (kiselinski ostatak)

T Nastavnik čestičnim crtežom prikazuje disocijaciju klorovodične kiseline.



K; T Nastavnik proces disocijacije klorovodične kiseline prikazuje jednadžbom kemijske reakcije.

$$HCl(g) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + Cl^-(aq)$$

oksonijev ion

K; T Nastavnik učenicima objašnjava nastanak oksonijevog iona u procesu disocijacije.

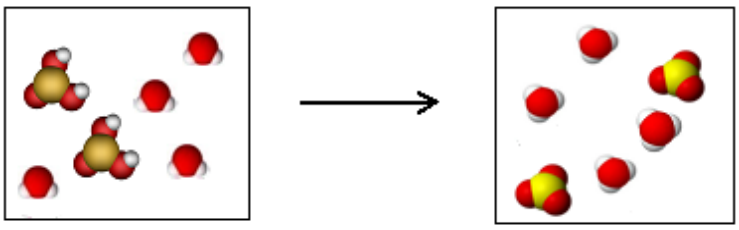
Molekule kiseline u vodi disociraju, otpuštajući jedan ili više H^+ iona koji s molekulama vode u otopini daju oksonijeve H_3O^+ ione koji uzrokuju kiselost otopina.

$$H^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+$$

T Nastavnik čestičnim crtežom prikazuje disocijaciju sumporaste kiseline.

Legenda: model molekule vode model oksonijevog iona

model molekule sumporaste kiseline model sulfitnog aniona



Na temelju čestičnog crteža učenici zapisuju jednadžbu kemijske reakcije.

T $2\ H_2SO_3 + 4\ H_2O \rightarrow 4\ H_3O^+ + 2\ SO_3^{2-}\ /:2$

K; T $H_2SO_3 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ H_3O^+ + SO_3^{2-}$

K; T Učenici uz pomoć nastavnika zapisuju primjere disocijacije sumporne, dušične i fosforne kiseline.

dušična kiselina $HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

sumporna kiselina $H_2SO_4 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ H_3O^+ + SO_4^{2-}$

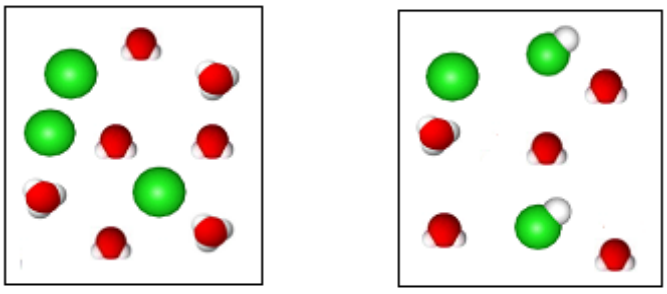
fosforna kiselina $H_3PO_4 + 3\ H_2O \rightarrow 3\ H_3O^+ + PO_4^{3-}$

K; T Učenici u skupinama određuju pH-vrijednosti 10 % sumporne kiseline i gazirane mineralne vode. Učenici zapisuju opažanja, prodiskutiraju ih u skupinama i predstave rezultate cijelom razredu.

T Nastavnik učenicima prikazuje čestičnim crtežom primjer disocijacije jake i slabe kiseline. Učenici samostalno analiziraju crteže i uočavaju razlike. Samostalno izvode zaključke.

Legenda: model molekule vode model oksonijevog iona model molekule kiseline model aniona kiseline

Što je kiselina jača, veći je broj disociranih molekula pa je tako i broj oksonijevih iona veći u određenom volumenu otopine.



otopina jake kiseline otopina slabe kiseline

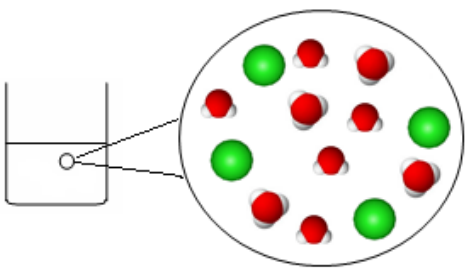
Nastavnik navodi da su sumporna, klorovodična i dušična kiselina jake, a sumporasta i fosforna slabe kiseline.

K; T Nastavnik demonstracijski izvodi pokus razrjeđivanja sumporne kiselina. U 100 mL

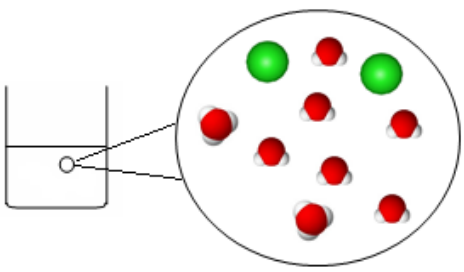
vode nastavnik doda 4 kapi koncentrirane sumporne kiseline, a potom istom volumenu vode u drugoj čaši doda 8 kapi kiseline. Učenici pomažu u mjerenju pH-vrijednosti obaju otopina univerzalnim indikatorskim papirom. Također, učenici bilježe opažanja, diskutiraju opaženu pojavu i izvode zaključak.

Razrjeđivanje kiselina: uvijek KuV, a nikada **VuK**

T Uz pomoć nastavnika učenici prikazuju čestičnim crtežom monoprotonske jake kisline različith koncentracija.



w(kiselina) = 20 %



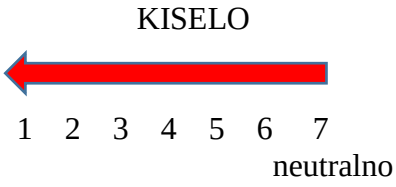
w(kiselina) = 10 %

T Učenici uz pomoć nastavnika izvode zaključak.

Jaka kiselina veće koncentacije ima veći broj disociranih molekula i veći broj oksonijevih iona koji su zaslužni za kiselost otopine određenog volumena.

K; T Nastavnik zapisuje i objašnjava pH ljestvicu.

Kiselost otopine iskazujemo pH-vrijednošću koja predstavlja brojnost oksonijevih iona u određenom volumenu otopine. pH-vrijednost kiselih otopina manja je od 7.



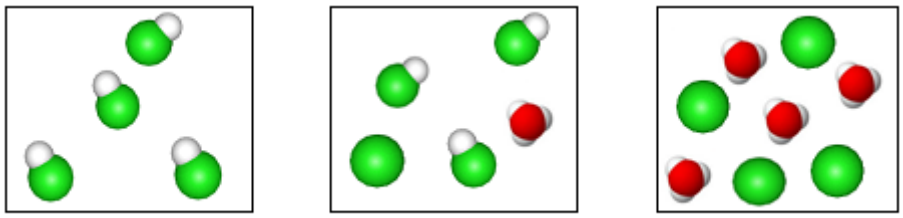
Što je otopina kiselija njena pH-vrijednost je manja.

Radni listić 1

T **Zadatak 1** Sastav triju otopina prikazan je čestičnim crtežima. Prouči crteže i odgovori na pitanja. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.

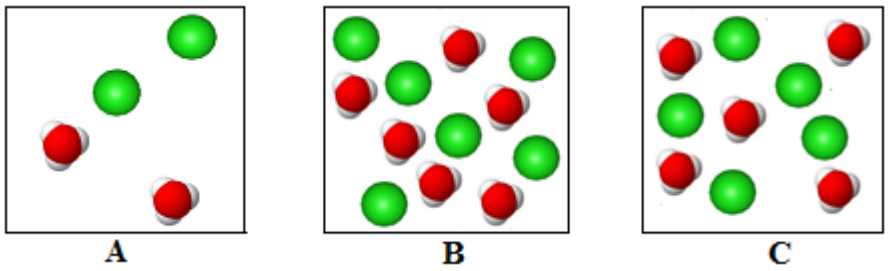
A) Koji crteži prikazuju kisele otopine? B i C
B) Koji crtež prikazuje otopinu jake kiseline? C
C) Koji crtež prikazuje otopinu slabe kiseline? B

Legenda: model aniona kiseline model molekule kiseline model oksonijevog iona



T **Zadatak 2** Čestični crteži prikazuju jednake volumene vodenih otopina jake kiseline (HA) različite koncentracije. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.

Legenda: model aniona kiseline model oksonijevog iona



A) Poredaj crteže po porastu kiselosti otopine. A, C, B
B) Koji crtež prikazuje najkiseliju otopinu? B
C) Koja otopina ima najveću pH-vrijednost? A

Zadatak za domaći rad

K; T **A)** Napiši jednadžbu disocijacije bromovodične kiseline (HBr).

$HBr(g) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + Br^-(aq)$

T Nacrtaj čestični crtež koji prikazuje disocijaciju četiri molekule bromovodične kiseline.

Učenici trebaju na crtežu modelom prikazati 4 bromidna iona i 4 oksonijeva iona.

PISANA PRIPREMA	
NASTAVNA TEMA: **NEMETALI**	BROJ SATA: **7.**
NASTAVNA JEDINICA: **KISELINE I NJIHOVA SVOJSTVA**	TIP SATA: ponavljanje
KLJUČNI POJMOVI: kiseline, vodikov (oksonijev) ion	
CILJ SATA: Ponoviti i utvrditi nastavne sadržaje vezane za nemetale i njihove spojeve	

OBRAZOVNI ISHODI:

- ususstaviti koncepte vezane za nemetale i njihove spojeve
- prepoznati i razumjeti povezanost pH-vrijednosti i kiselosti otopine
- nacrtati i primijeniti čestične crteže
- primijeniti stečeno znanje u rješavanju zadataka
- izgrađivati novo kemijsko znanje rješavanjem problema

Potrebno pripremiti:

- bilježnica, udžbenik i radna bilježnica, ploča i krede u boji, čestični crteži, ppt

Planirane aktivnosti za ostvarivanje teme

1. Učenici se rasporede u skupine koje broje 4–5 učenika.
2. Radni listići se podijele svim učenicima (Radni listić 2).
3. Prije rješavanja radnog listića daju se detaljne upute za rješavanje.
4. Učenici samostalno rješavaju listić i prodiskutiraju ga s ostalim članovima skupine.
5. Predstavnik skupine predstavlja rad skupine cijelom razredu.
6. Nastavnik se po potrebi uključuje u diskusiju kako bi pojasnio pojedine zadatke ili pomogao učenicima da dođu do točnog rješenja.
7. Podijeli se Radni listić 3 koji učenici trebaju riješiti za domaći rad, a analiza listća provodi se na sljedećem nastavnom satu.

Radni listić 2

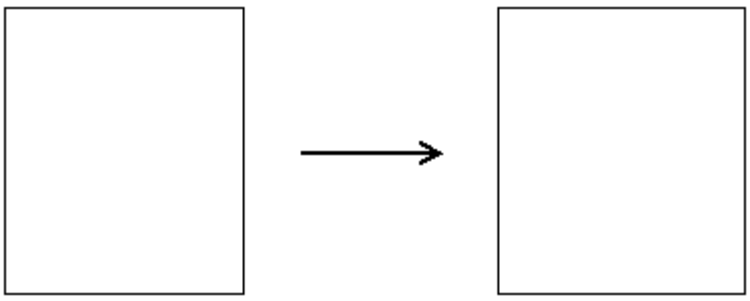
K; T **Zadatak 1** Konceptualna mapa

K; T **Zadatak 2** Reakcijom ugljikova(II) oksida i kisika nastaje ugljikov(IV) oksid. Opisana promjena može se prikazati jednadžbom kemijske reakcije:

$$\mathbf{2\ CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ CO_2(g)}$$

T A) Rabeći čestični crtež u prazne pravokutnike ucrtaj **reaktante** i **produkte** prema gore napisanoj jednadžbi kemijske reakcije.

Legenda: model atoma ugljika model atoma kisika



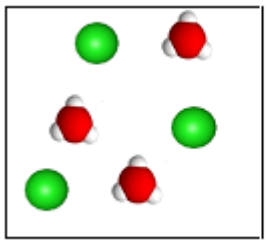
K; T B) Nastali ugljikov(IV) oksid reagira s vodom pri čemu nastaje ugljična kiselina. Jednadžbama kemijske reakcije prikažite:

a) nastanak ugljične kiseline $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$

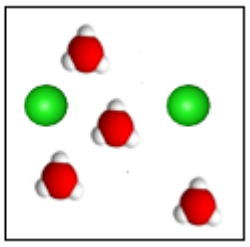
b) potpunu disocijaciju ugljične kiseline $H_2CO_3 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ H_3O^+ + CO_3^{2-}$ **.**

T **Zadatak 3** Čestični crteži prikazuju vodene otopine kiselina. Pažljivo ih promotri i razmisli kojoj kiselini odgovara pojedini čestični crtež. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice. Zaokruži točan odgovor ispod svakog crteža.

Legenda: model aniona kiseline model oksonijevog iona



A) H_2SO_3
B) HNO_3
C) H_2SO_4
D) H_2CO_3



A) H_2CO_3
B) HCl
C) H_2SO_4
D) HNO_3

Jednadžbom kemijske reakcije obrazloži svoj izbor:

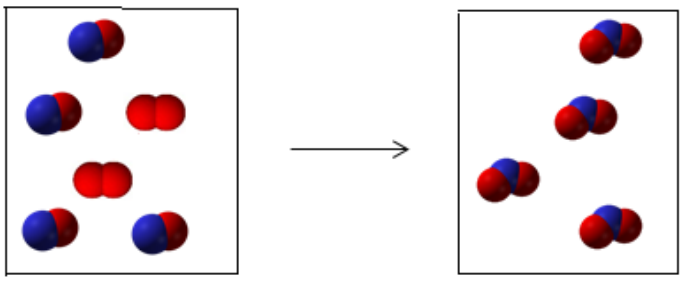
1. crtež $HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

2. crtež $H_2SO_4 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ H_3O^+ + SO_4^{2-}$

K; T Zadatak 4 Reakcijom dušikova(II) oksida i kisika nastaje dušikov(IV) oksid.

A) Napiši kemijske formule reaktanata i produkta NO; O_2; NO_2

Legenda: model molekule dušikova(II) oksida model molekule kisika



K; T C) Napiši jednadžbu kemijske reakcije. $2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$

K; T D) Reakcijom dušikova(IV) oksida i vode nastaju dušična i dušikasta kiselina (HNO_2).

Opisanu reakciju prikaži jednadžbom.

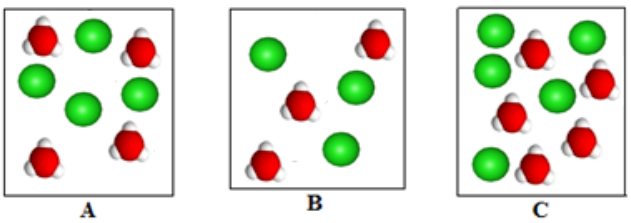
$2\ NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$

K; T E) Jednadžbom kemijske reakcije prikaži disocijaciju dušikaste kiseline.

$HNO_2 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_2^-$

T Zadatak 5 Čestični crteži prikazuju jednake volumene vodenih otopina jake kiseline HA različitih koncentracija. Bijela boja unutar okvira predstavlja predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice. Poredaj crteže po porastu koncentracije otopina. B, A, C

Legenda: model aniona kiseline model oksonijevog iona



Radni listić 3

Zadatci za domaći rad

K; T Zadatak 1 Sulfidna kiselina je **slaba** kiselina čija je kemijska formula H_2S.

A) Jednadžbom kemijske reakcije prikaži njenu potpunu disocijaciju u vodi.

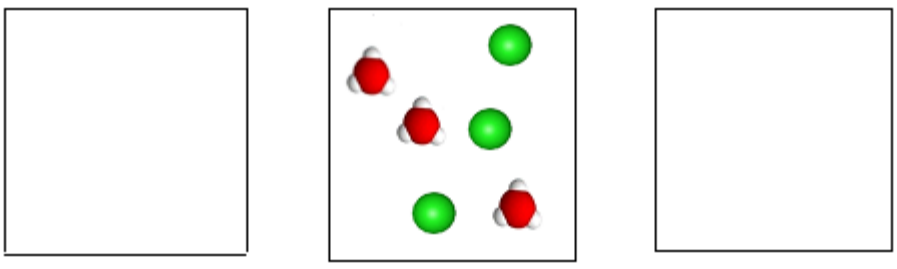
$$H_2S + 2\ H_2O \rightarrow 2\ H_3O^+ + S^{2-}$$

T B) Čestičnim crtežom prikaži vodenu otopinu ove kiseline koja sadrži 5 jedinki kiseline. Bijela boja unutar okvira neka ti predstavlja predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.
Učenici trebaju na crtežu modelom prikazati 1 ili 2 disocirane molekule i isto tako 4 ili 3 nedisocirane molekule sulfidne kiseline.

T Zadatak 2 Čestični crtež prikazuje otopinu **jake** kiseline HA čiji je maseni udio u otopini 15 %. U prazne pravokutnike nacrtaj otopine ove kiseline čiji su maseni udjeli 5 % i 25 %. Bijela boja unutar okvira predstavlja mnogo predstavlja molekule otapala (vode).

Učenici trebaju nacrtati crtež koji prikazuje 5 %-tnu otopinu (sadrži 1 model aniona kiseline i 1 model oksonijevog iona), a crtež 25 %-tne otopine sadrži 5 modela aniona kiseline i 5 modela oksonijevih iona.

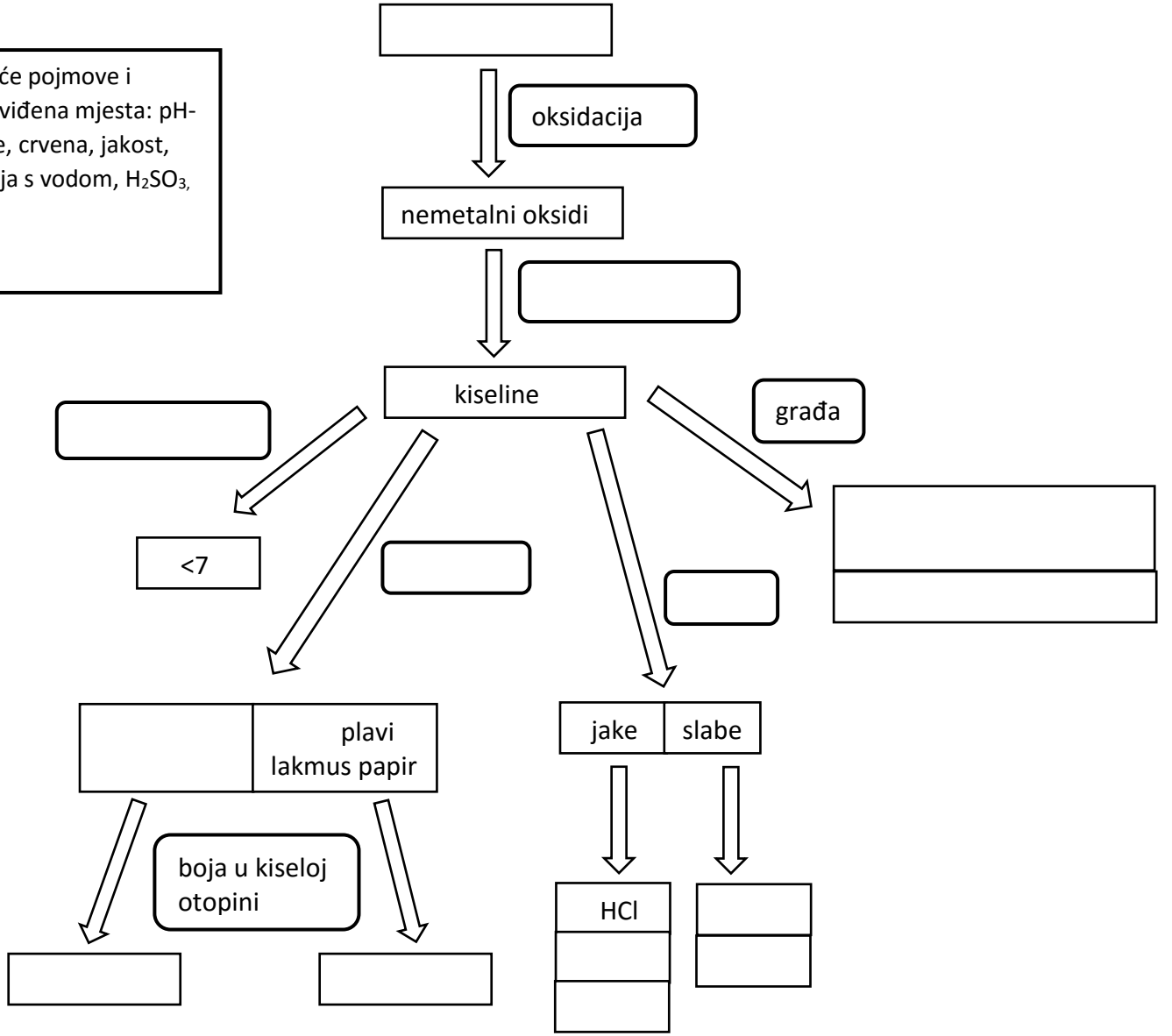
Legenda: model aniona kiseline model oksonijevog iona



5 %-tna otopina 15 %-tna otopina 25 %-tna otopina

Konceptualna mapa 1 – Nemetali i njihovi spojevi

U prazna polja konceptualne mape upiši sljedeće pojmove i njihove međusobne veze na za njih točno predviđena mjesta: pH-vrijednost, nemetalni anion ili atomske skupine, crvena, jakost, H_3O^+, nemetali, HNO_3, indikatori, H_2CO_3, reakcija s vodom, H_2SO_3, H_2SO_4, metiloranž.



PISANA PRIPREMA

Obrazovni ishodi koji su realizirani na prethodnim satovima kemije:
- pokusom istražiti i jednadžbama kemijskih reakcija prikazati nastajanje oksida zemnoalkalijskih metala (žarenjem karbonata i gorenjem metala na zraku)
- pokusom istražiti i jednadžbom kemijske reakcije prikazati da zemnoalkalijski metali i njihovi oksidi s vodom daju lužine (gašeno vapno)
- jednadžbama kemijskih reakcija prikazati vezanje žbuke, topljivost kalcijeva karbonata u oborinskim vodama, nastajanje špiljskih ukrasa, te taloženje i otapanje »kamenca«
- pokusima istražiti i obrazložiti uvjete korozije željeza u vodi i načine zaštite željeza od korozije

NASTAVNA TEMA: **METALI**	BROJ SATA: **9. i 10.**
NASTAVNA JEDINICA: **SPOJEVI METALA-ZAJEDNIČKA OBILJEŽJA**	TIP SATA: obrada

KLJUČNI POJMOVI: hidroksid, lužina,

CILJ SATA: Objasniti građu i svojstva hidroksida i lužina te njihovu ionizaciju .

OBRAZOVNI ISHODI:
- prikazati jednadžbama kemijskih reakcija nastajanje oksida zemnoalkalijskih metala (žarenjem karbonata i gorenjem metala na zraku)
- pokazati pokusom i jednadžbom kemijske reakcije da alkalijski i zemnoalkalijski metali i njihovi oksidi s vodom daju lužine
- definirati pojam hidroksida i lužine
- prikazati kemijskim formulama hidrokside i lužine
- obrazložiti razliku između hidroksida i lužine
- čestičnim crtežom prikazati jake i slabe lužine
- izmjeriti univerzalnim indikatorskim papirom pH-vrijednost lužnatih otopina
- objasniti porast pH-vrijednosti na pH-ljestvici

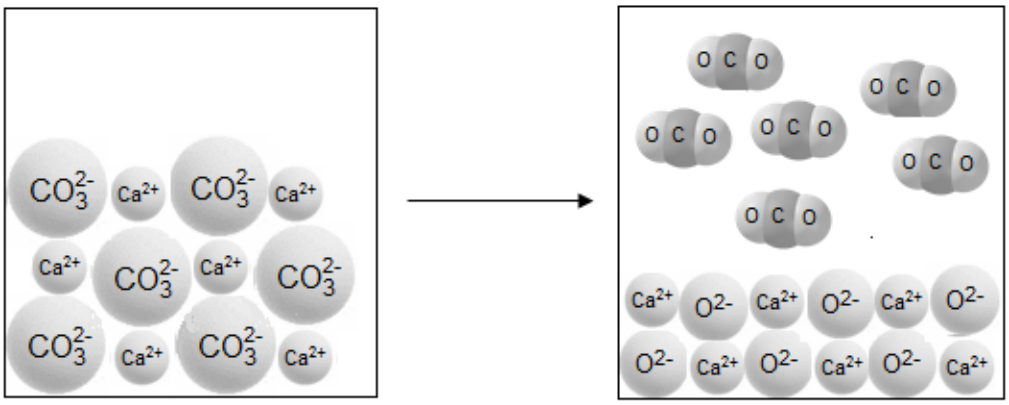
Potrebno pripremiti:
1. Posuđe, pribor i kemikalije: staklena čaša, pinceta, plamenik, tamna boca, satno staklo, žličica, stakleni štapić, magnezijeva vrpca, natrijev hidroksid, kalcijev hidroksida, univerzalni indikatorski papir, voda.
2. Ostali materijali: bilježnica, udžbenik i radna bilježnica, ploča i krede u boji, čestični crteži (ppt)

Planirane aktivnosti za ostvarivanje teme

SPOJEVI METALA - ZAJEDNIČKA OBILJEŽJA

K; T Učenici riječima opisuju pokus žarenja vapnenca obrađen na prethodnom nastavnom satu.

T Uz pomoć nastavnika crtaju čestični crtež koji predstavlja kemijsku reakciju žarenja vapnenca.



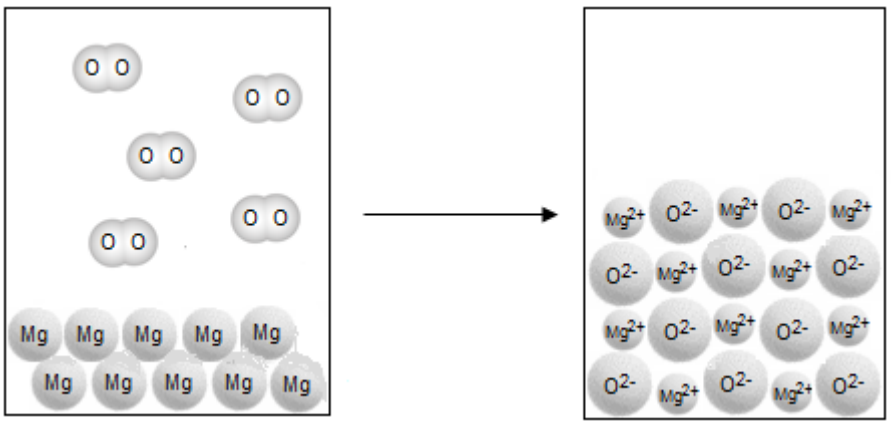
Na temelju čestičnog crteža učenici zapisuju jednadžbu kemijske reakcije.

T $6\ CaCO_3(s) \rightarrow 6\ CaO(s) + 6\ CO_2(g)\ /:6$

K; T $CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$

K; T Učenici u skupinama izvode pokus gorenja magnezija (bilježe opažanja, u skupinama diskutiraju opaženu pojavu).

T Učenici precrtaju reakciju gorenja magnezija prikazanu čestičnim crtežom. Nastavnik s učenicima analizira čestični crtež.



Na temelju čestičnog crteža učenici zapisuju jednadžbu kemijske reakcije.

T $10\ Mg(s) + 5\ O_2(g) \rightarrow 10\ MgO(s)\ /:5$

K; T $2\ Mg(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ MgO(s)$

K; T Učenici uz pomoć nastavnika zapisuju još nekoliko primjera oksidacije metala na temelju kojih uopćavaju izraz.

$$2\ Ca(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ CaO(s)$$

$$2\ Cu(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ CuO(s)$$

$$4\ Li(s) + O_2(g) \rightarrow 2\ Li_2O(s)$$

METAL + KISIK→ METALNI OKSID

K; T Nastavnik objašnjava i pomaže učenicima napisati reakcije magnezijeva oksida, odnosno kalcijeva oksida i vode. Na temelju napisanih jednadžbi kemijske reakcije učenici izvode opći zapis.

$MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$ magnezijev hidroksid

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ kalcijev hidroksid

METALNI OKSID + VODA → HIDROKSID

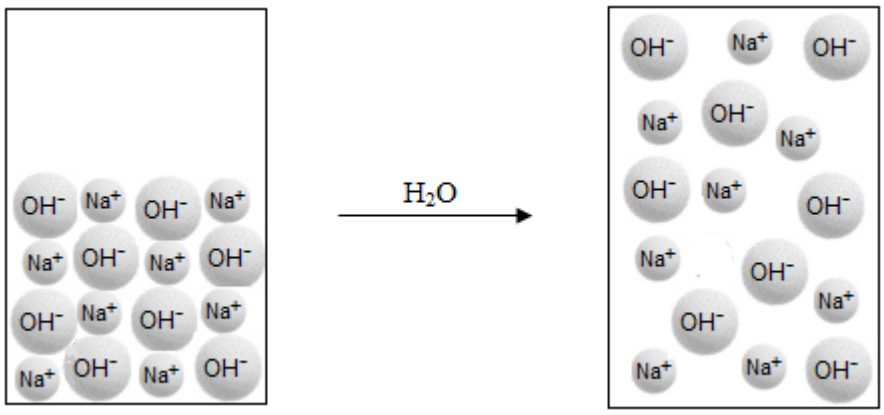
K; T Nastavnik ispisuje kemijske formule hidroksida, učenici analiziraju na temelju zapisa građu jedinki i uočavaju zajedničku skupinu u građi svih napisanih spojeva. Zajednički definiraju pojam hidroksid.

Na**OH**
K**OH**
Ca**(OH)**$_2$
Mg**(OH)**$_2$

Građa hidroksida → metalni kation
Građa hidroksida → jedan ili više hidroksidnih iona (OH^-)

K; T Nastavnik demonstrira pokus otapanja natrijeva hidroksida u vodi i načini provjeru pH-vrijednosti otopine. Učenici bilježe opažanja, razred diskutira opaženu pojavu.

T Učenici precrtaju model otapanja natrijeva hidroksida u vodi prikazan čestičnim crtežom. Učenici analiziraju čestini crtež. Nastavnik pojašnjava nejasnoće.



Na temelju čestičnog crteža učenici zapisuju jednadžbu disocijacije.

T $8\ NaOH(s) \xrightarrow{H_2O} 8\ Na^+(aq) + 8\ OH^-(aq)/:8$

K; T $NaOH(s) \xrightarrow{H_2O} Na^+(aq) + OH^-(aq)$

K; T Prah dobiven reakcijom gorenja magnezija učenici otapaju u vodi i mjere pH-vrijednost otopine. Uz pomoć nastavnika učenici zapisuju jednadžbe disocijacije kalcijeva i magnezijeva hidroksida.

$Ca(OH)_2(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq)$

$Mg(OH)_2(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq)$

K; T Na temelju jednadžbi kemijskih reakcija učenici uopćavanjem izvode zaključke.

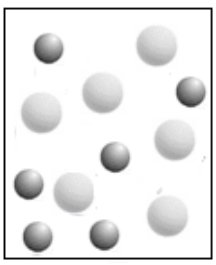
Otapanjem u vodi hidroksidi navedenih metala disociraju (razlažu se) na metalne katione i hidroksidne anione.

Vodene otopine hidroksida nazivamo **lužine**.

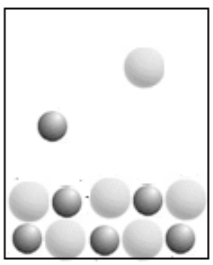
K; T Učenici u skupinama univerzalnim indikator papirom mjere pH-vrijednosti natrijeve i kalcijeve lužine (bilježe opažanja, u skupinama diskutiraju opaženu pojavu).

T Uz pomoć nastavnika učenici prikazuju čestičnim crtežom jaku i slabu lužinu. Učenici samostalno analiziraju crteže i uočavaju razlike.

Legenda: model hidroksidnog aniona model metalnog kationa



jaka lužina



slaba lužina

K; T Učenici uz pomoć nastavnika izvode zaključke.

Vodene otopine hidroksida su to jače lužine što veći broj jedinki disocira pa je tako i broj hidroksidnih iona veći u određenom volumenu otopine.

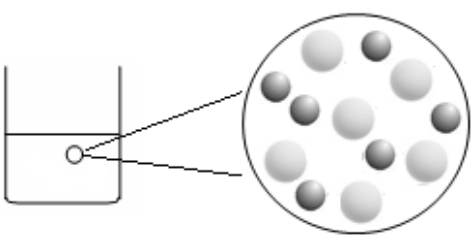
K; T Nastavnik navodi razliku u topljivosti hidroksida 1. i 2. skupine PSE te naglašava da hidroksidi ostalih skupina uglavnom nisu topljivi u vodi.

Hidroksidi metala 1. skupine PSE dobro su topljivi u vodi, hidroksidi metala 2. skupine PSE slabo su topljivi u vodi, a hidroksidi preostalih grupa PSE uglavnom nisu topljivi u vodi.

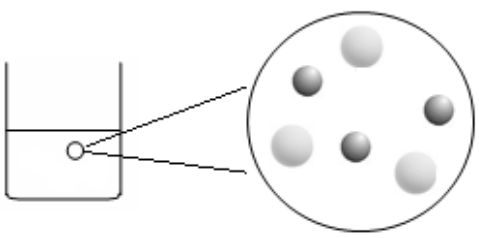
K; T Nastavnik demonstracijski izvodi pokus razrjeđivanja natrijeve lužine. U 100 mL vode nastavnik doda 3 kapi natrijeve lužine, a potom istom volumenu vode u drugoj čaši doda 6 kapi natrijeve lužine pri čemu mu učenici pomažu izmjeriti pH-vrijednost obaju otopina univerzalnim indikatorskim papirom. Učenici bilježe opažanja i diskutiraju opaženu pojavu.

T Uz pomoć nastavnika učenici prikazuju čestičnim crtežom lužnate otopine različite koncentracije.

Legenda: model hidroksidnog aniona model metalnog kationa



w(lužina) = 20 %



w(lužina) = 10 %

K; T Učenici uz pomoć nastavnika izvode zaključak.

U određenom volumenu koncentriranije vodene otopine jake lužine nalazi se više hidroksidnih iona.

K; T Nastavnik zapisuje i objašnjava pH ljestvicu.

pH-vrijednost lužnatih otopina veća je od 7.

LUŽNATO



7 8 9 10 11 12 13 14

neutralno

povišenjem pH-vrijednosti lužnatost raste kao i brojnost hidroksidnih iona u otopini

Učenici zapisuju u bilježnicu zadatak za domaći rad. Analiza domaćeg rada provodi se idući nastavni sat.

Zadatak 1 Amonijeva lužina ne sadrži ione metala. Nastaje reakcijom amonijaka i vode.

Amonijeva lužina osim hidroksidnih iona sadrži i amonijeve ione (NH_4^+).

K; T 1. Jednadžbom kemijske reakcije prikaži reakciju amonijaka i vode.

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$$

T Čestičnim crtežom simbolički prikaži kemijsku promjenu uz pretpostavku da se u reakcijskom sustavu nalaze 3 molekule amonijaka i 3 molekule vode.

Učenici trebaju na crtežu modelom prikazati 3 amonijeva iona i 3 hidroksidna iona.

PISANA PRIPREMA	
NASTAVNA TEMA: **METALI**	BROJ SATA:**11.**
NASTAVNA JEDINICA: **SPOJEVI METALA-ZAJEDNIČKA OBILJEŽJA**	TIP SATA: ponavljanje
KLJUČNI POJMOVI: hidroksid, lužina	
CILJ SATA: Ponoviti i utvrditi nastavne sadržaje vezane za metale i njihove spojeve	
OBRAZOVNI ISHODI: • ususstaviti koncepte vezane za metale i njihove spojeve • prepoznati i razumjeti povezanost pH-vrijednosti i lužnatosti otopine • nacrtati i primijeniti čestične crteže • primijeniti stečeno znanje u rješavanju zadataka • izgrađivati novo kemijsko znanje rješavanjem problema	
Potrebno pripremiti: - bilježnica, udžbenik i radna bilježnica, ploča i krede u boji, čestični crteži, ppt	
Planirane aktivnosti za ostvarivanje teme	
1. Učenici se rasporede u skupine broje 4–5 učenika. 2. Radni listići podijele se svim učenicima (Radni listić 4). 3. Prije rješavanja radnog listića daju su detaljne upute za rješavanje. 4. Učenici samostalno rješavaju listić i rezultate diskutiraju s ostalim članovima skupine. 5. Predstavnik skupine predstavlja rezultate skupine cijelom razredu. 6. Nastavnik se po potrebi uključuje u diskusiju kako bi pojasnio pojedine zadatke ili pomogao učenicima da dođu do točnog rješenja. 7. Svim učenicima se podijeli Radni listić 5 koji trebaju riješiti za domaći rad, a rezultati se analiziraju na sljedećem nastavnom satu.	

Radni listić 4

K; T Zadatak 1 Konceptualna mapa (priloženi Wordov dokument)

K, T Zadatak 2 Oksidacijom metala litija nastaje litijev oksid. U reakciji litijeva oksida i vode nastaje litijev hidroksid **dobro** topljiv u vodi. Jednadžbama kemijske reakcije prikaži:

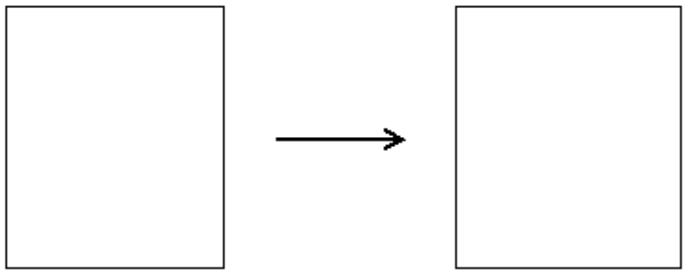
A) oksidaciju litija $4\ Li + O_2 \rightarrow 2\ Li_2O$

B) reakciju litijeva oksida i vode $Li_2O + H_2O \rightarrow 2\ LiOH$

C) disocijaciju litijeva hidroksida $LiOH \xrightarrow{H_2O} Li^+ + OH^-$

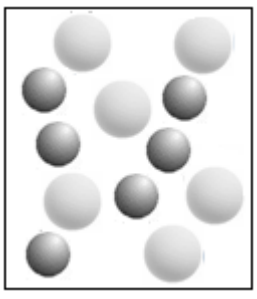
T D) Čestičnim crtežom prikaži disocijaciju litijeva hidroksida. Rabeći čestični crtež u prazne pravokutnike ucrtaj **reaktante** i **produkte** prema gore napisanoj jednadžbi kemijske reakcije. Bijela boja unutar desnog okvira predstavlja molekule otapala (vode).

Legenda: model hidroksidnog aniona model metalnog kationa



T Zadatak 3 Čestični crtež prikazuje model vodene otopine lužine. Pažljivo ga promotri i razmisli kojoj lužini odgovara. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice. Zaokruži točan odgovor ispod crteža.

Legenda: model hidroksidnog aniona model metalnog kationa



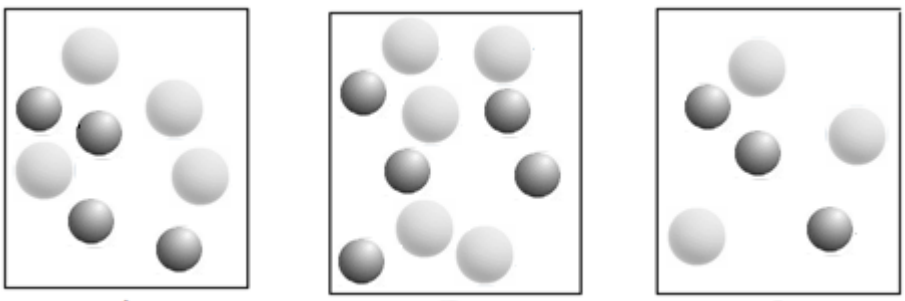
A) $Ca(OH)_2$
B) KOH
C) $Zn(OH)_2$
D) $Mg(OH)_2$

Obrazloži riječima svoj izbor: Omjer kationa metala i hidroksidnog iona je 1:1.

T Zadatak 4 Čestični crteži prikazuju jednake volumene vodenih otopina jake lužine različite koncentracije. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice.

Poredaj crteže po porastu lužnatosti otopine. C, A, B

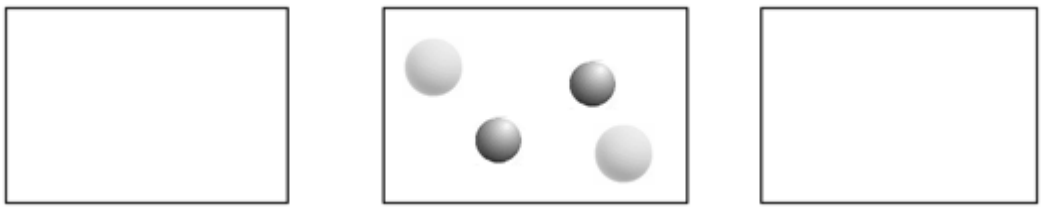
Legenda: model hidroksidnog aniona model metalnog kationa



T Zadatak 5 Čestični crtež prikazuje vodenu otopinu jake lužine u kojoj je maseni udio 10 %. U prazne pravokutnike nacrtaj otopine jake lužine čiji su maseni udjeli 5 % i 25 %. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode).

Legenda: model hidroksidnog aniona model metalnog kationa

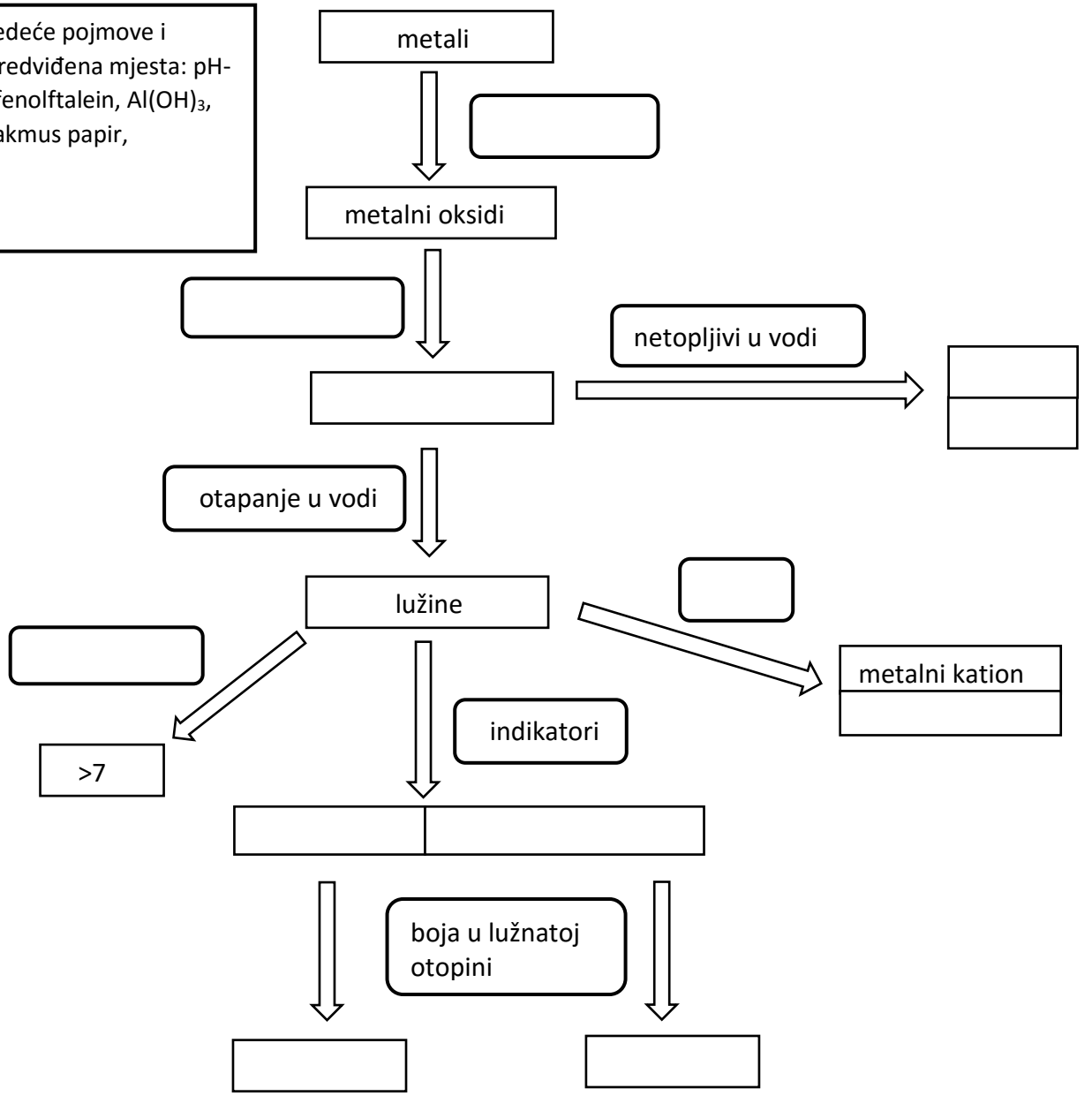
Crtež koji prikazuje 5 % otopinu sadrži 1 model metalnog kationa i 1 model hidroksidnog iona, a crtež 25 % otopine sadrži 5 modela metalnih kationa i 5 modela hidroksidnih iona.



5 %-tna otopina 10 %-tna otopina 25 %-tna otopina

Konceptualna mapa 2 – Metali i njihovi spojevi

U prazna polja konceptualne mape upiši sljedeće pojmove i njihove međusobne veze na za njih točno predviđena mjesta: pH-vrijednost, OH^-, plava, $Fe(OH)_2$, oksidacija, fenolftalein, $Al(OH)_3$, građa, ljubičasta, reakcija s vodom, crveni lakmus papir, hidroksidi.



Radni listić 5

Zadatci za domaći rad

K, T Zadatak 1

Oksidi željeza nisu topljivi u vodi. Napiši kemijske formule oksida željeza.

A) željezov(II) oksid FeO

B) željezov(III) oksid Fe_2O_3

Željezov(II) hidroksid nastaje kao bijeli talog ako se vodenoj otopini koja sadrži Fe^{2+} ione doda lužina, kako je opisano jednadžbom kemijske reakcije:

$$Fe^{2+}(aq) + 2\ OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_2(s)$$

C) Željezov(III) hidroksid nastaje kao crvenosmeđi talog ako se vodenoj otopini koja sadrži Fe^{3+} ione doda lužina. Opisanu promjenu prikaži jednadžbom kemijske reakcije.

$$Fe^{3+}(aq) + 3\ OH^-(aq) \rightarrow Fe(OH)_3(s)$$

D) Otapaju li se željezov(II) hidroksid i željezov(III) hidroksid u vodi? Ne.

E) Stvaraju li ovi hidroksidi lužine? Ne.

K, T Zadatak br. 2

Napiši kemijske formule sljedećih hidroksida.

A) bakrov(II) hidroksid $Cu(OH)_2$

B) aluminijev hidroksid $Al(OH)_3$

C) kalijev hidroksid KOH

D) Koji je od navedenih hidroksida topljiv u vodi? KOH.

E) Napiši jednadžbu disocijacije kalijeva hidroksida u vodi.

$$KOH(s) \xrightarrow{H_2O} K^+(aq) + OH^-(aq)$$

F) Kako se naziva dobivena otopina? kalijeva lužina

T G) Čestičnim crtežom prikaži kalijevu lužinu uz pretpostavku da je nastala disocijacijom četiri formulske jedinke kalijeva hidroksida.

Učenici trebaju na crtežu modelom prikazati 4 kalijeva iona i 4 hidroksidna iona.

PISANA PRIPREMA

Obrazovni ishodi koji su realizirani na prethodnim satovima kemije:
- poznavati svojstva, primjenu i načine dobivanja kuhinjske soli
- imenovati katione i anione jednostavnijih soli
- pokusima istražiti i jednadžbama kemijske reakcije prikazati različite metode dobivanja soli (reakcija metala i nemetala, reakcija metala s kiselinama, reakcija metalnih oksida s kiselinama)

NASTAVNA TEMA: **SOLI**	BROJ SATA: **15.**
NASTAVNA JEDINICA: **NEUTRALIZACIJA**	TIP SATA: obrada

KLJUČNI POJMOVI: kemijske formule i nazivi soli, neutralizacija

CILJ SATA: Objasniti postupak dobivanja soli neutralizacijom.

OBRAZOVNI ISHODI:
- čestičnim crtežom prikazati reakcije neutralizacije
- samostalno napisati i izjednačiti jednadžbu reakcije dobivanja soli neutralizacijom
- definirati pojam neutralizacije
- imenovati katione i anione jednostavnijih soli nastalih neutralizacijom
- čestičnim crtežom prikazati nastanak soli topljivih i netopljivih u vodi

Potrebno pripremiti:
1. Posuđe, pribor i kemikalije: 2 epruvete, 2 boce kapaljke označene brojevima 1 i 2, stalak za epruvete, natrijeva lužina, klorovodična kiselina, kalcijeva lužina, sumporna kiselina, fenolftalein, univerzalni indikator papir.
2. Ostali materijali: bilježnica, udžbenik i radna bilježnica, ploča i krede u boji, čestični crteži (ppt)

Planirane aktivnosti za ostvarivanje teme

NEUTRALIZACIJA

K; T Ponoviti nastavne sadržaje obrađene na prethodnim nastavnim satima vezane za građu, svojstva i postupke dobivanja soli.

K; T Učenici gledaju animaciju procesa otapanja natrijeva klorida u vodi. Preuzeto s:

www.**youtube.com/watch**?**v=IlfCnGYOoEM**

K; T Učenici u skupinama izvode pokus neutralizacije natrijeve lužine i klorovodične kiseline (bilježe opažanja, u skupinama diskutiraju opaženu pojavu).

Korak 1

K; T 1 do 2 kapi otopine iz boce kapaljke označene brojem 1 dokapaj na univerzalni indikator papir. Opazi boju univerzalnog indikator papira.

Boja univerzalnog indikator papira se promijenila i postala crvena.

K; T Što možeš zaključiti na temelju opažene promjene boje univerzalnog indikator papira?

Otopina u epruveti je kisela.

K; T Koji ioni, prisutni u otopini, su uzrokovali promjenu boje univerzalnog indikator papira?

Vodikovi ioni (H^+) uzrokovali su kiselost otopine.

Oksonijevi ioni (H_3O^+) uzrokovali su kiselost otopine.

K; T Nastavnik otkriva da je otopina u boci kapaljki 1 vodena otopina klorovodične kiseline.

K; T Dokapaj 1 do 2 kapi otopine iz boce kapaljke 2 na univerzalni indikator papir. Opazi boju univerzalnog indikator papira.

Boja univerzalnog indikator papira je zelena.

K; T Što možeš zaključiti na temelju opažene promjene boje univerzalnog indikator papira?

Otopina je lužnata.

K; T Koji su ioni, prisutni u otopini, uzrokovali promjenu boje univerzalnog indikator papira?

Hidroksidni ioni (OH^-) su uzrokovali lužnatost otopine.

K; T Nastavnik objašnjava da je otopina u boci kapaljki 2 natrijeva lužina.

Korak 2

K; T U epruvetu ukapaj dvije kapi fenolftaleina.

K; T U sadržaj epruvete dokapaj 10 kapi natrijeve lužine. Lagano protresi otopinu. Koje je boje otopina?

Bezbojna otopina obojila se ljubičasto.

K; T Napiši nazive i kemijske formule značajnih kemijskih vrsta prisutnih u otopini.

Natrijevi ioni (Na^+), hidroksidni ioni (OH^-) i molekule vode (H_2O).

K; T U sadržaj epruvete dokapaj jednu kap klorovodične kiseline i potom protresi epruvetu. Koje je boje otopina u epruveti?

Boja se nije promijenila.

K; T Napiši nazive i kemijske formule značajnih kemijskih vrsta prisutnih u otopini.

Natrijevi ioni (Na^+), hidroksidni ioni (OH^-), kloridni ioni (Cl^-) i molekule vode (H_2O).

K; T Nastavi dodavati klorovodičnu kiselinu, kap po kap, dok ne opaziš promjenu boje. Koje boje je otopina?

Ljubičasta boja otopine promijenila se u bezbojnu.

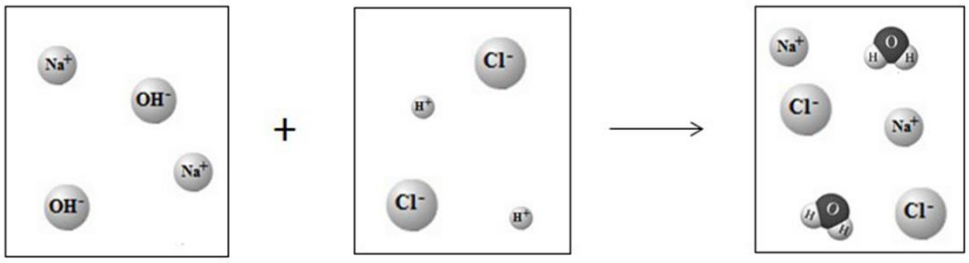
K; T Napiši nazive i kemijske formule značajnih kemijskih vrsta prisutnih u otopini.

Natrijevi ioni (Na^+), kloridni ioni (Cl^-) i molekule vode (H_2O).

K; T Obrazloži svoj odgovor.

Nastavnik prihvaća sve smislene odgovore.

T Nastavnik objašnjava opaženu pojavu i crta čestični crtež koji prikazuje reaktante kemijske reakcije. Na temelju opaženog, učenici tretmanske skupine crtaju čestični crtež koji prikazuje produkte kemijske reakcije.



K; T Na temelju pokusa i gore prikazanog crteža (tretmanska skupina), svaka skupina piše ukupnu ionsku jednadžbu kemijske reakcije. Nakon toga, predstavnici skupina prezentiraju odgovore razredu.

T $2\ Na^+(aq) + 2\ OH^-(aq) + 2\ H^+(aq) + 2\ Cl^-(aq) \rightarrow 2\ Na^+(aq) + 2\ Cl^-(aq) + 2\ H_2O(l)$ /:2

K; T $Na^+(aq) + OH^-(aq) + H^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow Na^+(aq) + 2\ Cl^-(aq) + H_2O(l)$

Nastavnik objašnjava reakciju neutralizacije.

Isključujući ione promatrače koji ne sudjeluju u kemijskoj reakciji dolazimo do sljedeće ionske jednadžbe kemijske reakcije:

T $2\ H^+(aq) + 2\ OH^-(aq) \rightarrow 2\ H_2O(l)$ /:2

K; T $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$

Opisana kemijska reakcija također se može prikazati molekulskom jednadžbom kemijske reakcije:

T $2\ NaOH(aq) + 2\ HCl(aq) \rightarrow 2\ NaCl(aq) + 2\ H_2O(l)$ /:2

K; T $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

K; T Neutralizacija je reakcija kiselina s hidroksidima i lužinama. H^+ (H_3O^+) ion iz kiseline i OH^- ion iz lužine stvaraju molekulu vode. Otopina je neutralna (pH = 7) ukoliko je broj H^+ i OH^- iona jednak, $N(H^+) = N(OH^-)$.

Korak 3

K; T U sadržaj epruvete dokapaj 3 kapi natrijeve lužine. Lagano protresi epruvetu. Koje je boje otopina?
Bezbojna otopina obojila se ljubičasto.

K; T Dodajući kap po kap natrijeve lužine postaje li otopina manje ili više lužnata?

Otopina postaje više lužnata.

K; T Kolika je pH-vrijednost otopine?

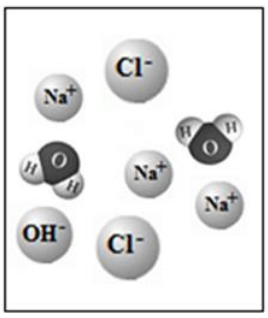
pH > 7.

K; T Napiši nazive i kemijske formule značajnih kemijskih vrsta prisutnih u otopini.

Natrijevi ioni (Na^+), kloridni ioni (Cl^-), hidroksidni ioni (OH^-) i molekule vode (H_2O).

K; T Nakon što su učenici dovršili zadane aktivnosti, svaka skupina prezentira objašnjenja događanja na čestičnoj razini. Nakon prezentacija svih skupina učenici komentiraju objašnjenja naglašavajući slažu li se s njima ili se ne slažu.

T Tretmanska skupina crta čestični crtež kako bi prikazala reakcijski sustav nakon pokusa. Nakon što su učenici dovršili crtanje, svoje čestične crteže prezentiraju razredu. Za vrijeme prezentacije nastavnik ispravlja nepravilnosti učeničkih crteža. Nastavnik na ploči crta točan čestični prikaz opažene pojave.



Korak 4

K; T U sadržaj epruvete dodaj kap po kap klorovodične kiseline dok otopina ne promijeni boju.

Ljubičasta boja otopine trebala bi se obezbojiti.

K; T Kolika je pH-vrijednost otopine?

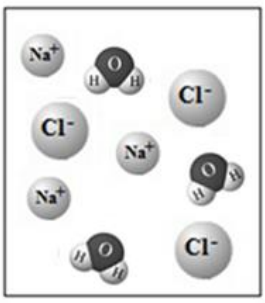
pH ≈ 7.

T Napiši nazive i kemijske formule značajnih kemijskih vrsta prisutnih u otopini.

Natrijevi ioni (Na^+), kloridni ioni (Cl^-) i molekule vode (H_2O).

K; T Svaka skupina oblikuje objašnjenje o tome što se dogodilo nakon dodatka klorovodične kiseline. Predstavnici skupina iznose dogovorena objašnjenja svojih skupina. Za vrijeme prezentacije nastavnik postavlja dodatna pitanja kako bi se u potpunosti razjasnila učenička objašnjenja.

T Učenici tretmanske skupine crtaju čestični crtež kojim objašnjavaju opažene događaje na čestičnoj razini. Skupine prezentiraju svoje uratke razredu. Tijekom prezentacije nastavnik usmjerava pažnju učenika na pogreške uočene na njihovim crtežima. Nastavnik na ploči crta točan prikaz opažene pojave.



K; T Učenici uz pomoć nastavnika zapisuju još nekoliko primjera reakcije neutralizacije molekulskom jednadžbom kemijske reakcije na temelju kojih uopćavaju izraz.

$$KOH(aq) + HNO_3(aq) \rightarrow KNO_3(aq) + H_2O(l)$$

$$Ca(OH)_2(aq) + 2\ HNO_3(aq) \rightarrow Ca(NO_3)_2(aq) + 2\ H_2O(l)$$

$$2\ NaOH(aq) + H_2CO_3(aq) \rightarrow Na_2CO_3(aq) + 2\ H_2O(l)$$

LUŽINA + KISELINA → SOL + VODA

Zadatci za domaći rad

Radni listić 6

K; T Zadatak 1 Kako se nazivaju produkti reakcije neutralizacije?

Produkti nastali reakcijom kiselina i lužina su sol i voda.

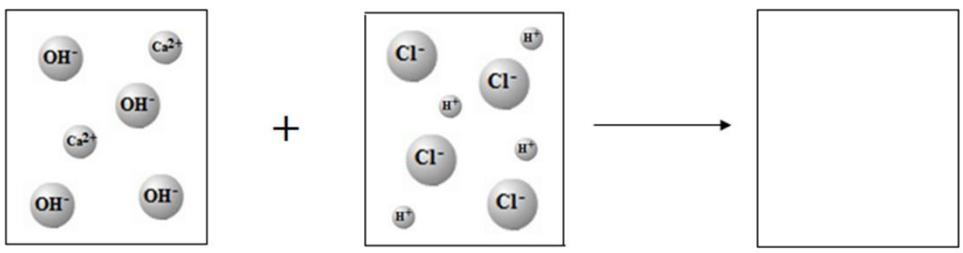
K; T Zadatak 2 Zašto reakciju kiseline i lužine nazivamo neutralizacijom?

Reakciju kiseline i lužine nazivamo neutralizacijom jer H^+ ion iz kiseline i OH^- ion iz lužine stvaraju neutralnu molekulu vode.

K; T Zadatak 3 Reakciju kalcijeve lužine i klorovodične kiseline prikaži molekulskom jednadžbom kemijske reakcije.

$Ca(OH)_2(aq) + 2\ HCl(aq) \rightarrow\ CaCl_2(aq) + 2\ H_2O(l)$

T Opisanu kemijsku promjenu prikaži čestičnim crtežom uz pretpostavku da se u reakcijskom sustavu nalaze 2 formulske jedinke kalcijeve lužine i 4 molekule klorovodične kiseline.



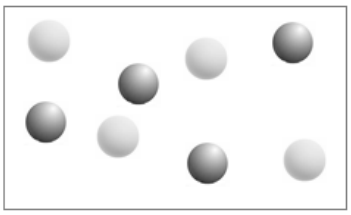
PISANA PRIPREMA	
NASTAVNA TEMA: **SOLI**	BROJ SATA:**16.**
NASTAVNA JEDINICA: **NEUTRALIZACIJA**	TIP SATA: ponavljanje
KLJUČNI POJMOVI: kemijske formule i nazivi soli, neutralizacija	
CILJ SATA: Ponoviti i utvrditi nastavne sadržaje vezane za dobivanje soli neutralizacijom.	
OBRAZOVNI ISHODI: • ususstaviti koncepte vezane za soli i njihovo dobivanje • objasniti i primijeniti koncept neutralizacije • nacrtati i primijeniti čestične crteže • primijeniti stečeno znanje u rješavanju zadataka • izgrađivati novo kemijsko znanje rješavanjem problema	
Potrebno pripremiti: - bilježnica, udžbenik i radna bilježnica, ploča i krede u boji, čestični crteži, ppt	
Planirane aktivnosti za ostvarivanje teme	
1. Učenici se rasporede u skupine koje broje 4–5 učenika. **2.** Radni listići se podijele svim učenicima (Radni listić 7). **3.** Prije rješavanja radnog listića daju se detaljne upute za rješavanje. **4.** Učenici samostalno rješavaju listić i rezultate diskutiraju s ostalim članovima skupine. **5.** Predstavnik skupine predstavlja rezultate skupine cijelom razredu. **6.** Nastavnik se po potrebi uključuje u diskusiju kako bi pojasnio pojedine zadatke ili pomogao učenicima da dođu do točnog rješenja. **7.** Svim učenicima se podijeli Radni listić 8 koji trebaju riješiti za domaći rad, a rezultati se analiziraju na sljedećem nastavnom satu.	

Radni listić 7

K; T Zadatak 1 Konceptualna mapa

T Zadatak 2 Čestični crtež prikazuje vodenu otopinu nepoznate soli. Pažljivo ga promotri i razmisli vodenoj otopini koje soli odgovara čestični crtež. Bijela boja unutar okvira predstavlja molekule otapala (vode) koje okružuju prikazane čestice. Zaokruži točan odgovor ispod crteža.

Legenda: model nemetalnog aniona ili atomske skupine model metalnog kationa

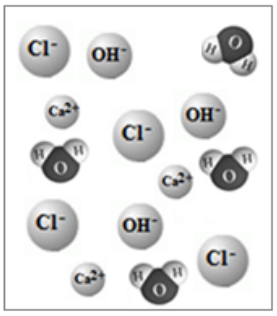


A) Na_2CO_3
B) NaCl
C) Na_2SO_4
D) $CaCl_2$

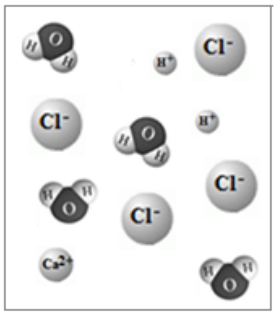
Molekulskom jednadžbom kemijske reakcije prikaži nastanak ove soli neutralizacijom.

$NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

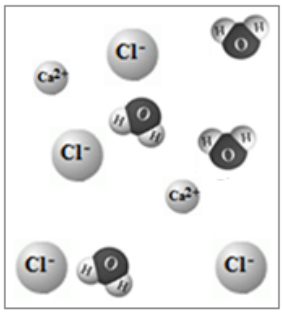
T Zadatak 3 Koji od sljedećih čestičnih crteža prikazuje vodenu otopinu soli dobivenu u reakciji potpune neutralizacije kalcijeve lužine klorovodičnom kiselinom. Zaokruži slovo ispod izabranog crteža.



A



B



C

A) Obrazloži svoj odgovor. Crtež C jer jedini predstavlja neutralnu otopinu.

B) Koja od prikazanih otopina je lužnata? A

C) Koja od prikazanih otopina je kisela? B

K; T Zadatak 4

A) Na praznim crtama napiši jednadžbe kemijskih reakcija u kojima su reaktanti:

a) cink i jod $Zn + I_2 \rightarrow ZnI_2$

b) magnezij i sumporna kiselina $Mg + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 + H_2$

c) bakrov(II) oksid i klorovodična kiselina $CuO + 2\ HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O$

d) kalcijev hidroksid i nitratna kiselina $Ca(OH)_2 + 2\ HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2\ H_2O$

B) Kalcijev nitrat je čest sastojak umjetnih gnojiva. Sol je topljiva u vodi.

a) Koji ioni su prisutni u vodenoj otopini kalcijeva nitrata? Ca^{2+} i NO^{3-}

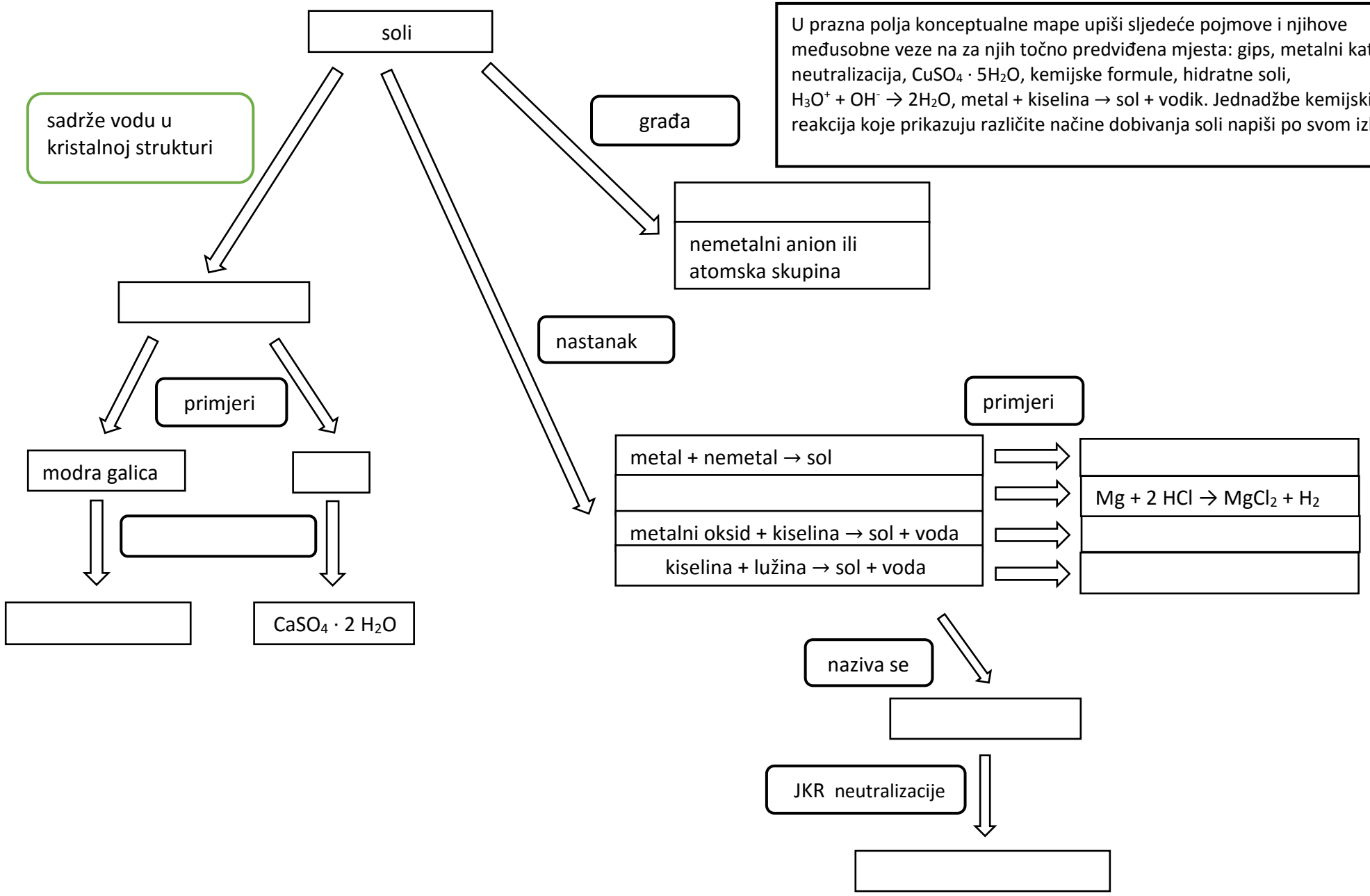
T B) Čestičnim crtežom prikaži otopinu kalcijeva nitrata. Bijela boja unutar okvira neka ti predstavlja molekule otapala (vode).

Legenda:  model nitratnog iona  model kalcijevog iona

Učenici trebaju na crtežu modelom prikazati 1 kalcijev ion i 2 nitratna iona.

Konceptualna mapa 3 – Soli

U prazna polja konceptualne mape upiši sljedeće pojmove i njihove međusobne veze na za njih točno predviđena mjesta: gips, metalni kation, neutralizacija, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, kemijske formule, hidratne soli, $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$, metal + kiselina → sol + vodik. Jednadžbe kemijskih reakcija koje prikazuju različite načine dobivanja soli napiši po svom izboru.



Radni listić 8.

K; T Zadatak za domaći rad

Antacidi su preparati koji se mogu nabaviti u ljekarnama, a služe uklanjaju suviška klorovodične kiseline u želudcu. U svom sastavu mogu sadržavati različite soli i hidrokside.

Soda bikarbona ($NaHCO_3$) je sol čija je vodena otopina lužnata. Koristi se za neutralizaciju viška klorovodične kiseline u želucu. Produkti te reakcije osim soli su ugljikov dioksid i voda.

A) Napiši molekulsku jednadžbu kemijske reakcije.

$NaHCO_3(s) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$

Magnezijev hidroksid također se upotrebljava kao antacid.

B) Napiši jednadžbu kemijske reakcije magnezijeva hidroksida i klorovodične kiseline.

$Mg(OH)_2(s) + 2\ HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + 2\ H_2O(l)$

C) Kako se naziva ova reakcija? neutralizacija

T D) Nastanak magnezijeva klorida reakcijom neutralizacije prikaži čestičnim crtežom uz pretpostavku da se u reakcijskom sustavu nalaze 2 formulske jedinke magnezije lužine i 5 molekula klorovodične kiseline.

Učenici trebaju na crtežu modelom prikazati 2 magnezijeva iona i 5 kloridnih iona, 4 molekule vode i 1 vodikov ion.

8. ŽIVOTOPIS

Osobni podatci **Kontakt**

Ime i prezime: Sanda Šimičić

Datum rođenja: 19. ožujka 1968. **E- mail**: sandasimicic@yahoo.co.uk

Adresa: Pujanke 26, Split

Zvanje	• profesor biologije i kemije
Zanimanje	• učitelj prirode, biologije i kemije
Obrazovanje	• 10. svibnja 1994. diplomirala na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Splitu, smjer biologija-kemija • 11. svibnja 1995. položila stručni ispit (kemija)
Radno iskustvo	• 21 godina radnog staža • OŠ Marjan, OŠ Skalice, OŠ Kman-Kocunar, OŠ Slatine, OŠ Ostrog, OŠ Split 3, OŠ Primorski Dolac
Zaposlenje	• OŠ Split 3
Radna postignuća	• od 2005. voditeljica županijskog stručnog vijeća učitelja kemije • 2007. promaknuta u zvanje učitelja mentora • 2012. promaknuta u zvanje učitelja savjetnika • od 2005. redoviti član Županijskog povjerenstva za provedbu natjecanja iz kemije učenika OŠ • 2013., 2015. i 2017. obnašala dužnost predsjednice Županijskog povjerenstva za provedbu školskog i županijskog natjecanja iz kemije • 2015. - …. član Državnog povjerenstva za provedbu natjecanja iz kemije • vanjski suradnik u izvođenju mentorskih vježbi iz Metodike nastave kemije • 2008. - član ispravljačkog tima ncvvo pri vanjskom vrednovanju učenika 8. razreda – kemija

	• 2015.–2016. članica Stručne radne skupine za izradu nacionalnog kurikuluma za nastavni predmet kemija
Udžbenički materijal	• recezent zbirke zadataka U svijetu kemije 8, Profil • koautor učeničkog CD-a U svijetu kemije 7 i 8, Profil • recezent udžbenika Lučba 7 i Lučba 8, te radnih bilježnica Lučba 7 i Lučba 8, Školska knjiga • koautor priručnika za nastavnike Lučba 7 i Lučba 8, Školska knjiga • koautor udžbenika, radne bilježnice i priručnika Kemija 8, Profil • koautor ispita znanja Kemija 7, Profil
Publikacije	• Šimičić, S., Mrvoš-Sermek, D. (2017). How to Identify and Analyze the Misconceptions Associated with the Concept of the Chemical Equation? *Croatian Journal of Education,* Rad prihvaćen za publikaciju. • Šimičić, S., Mrvoš-Sermek, D. (2016). Može li uporaba čestičnog crteža u početnom poučavanju kemije unaprijediti konceptualno razumijevanje jednadžbe kemijske reakcije. *3. hrvatska konferencija o kemijskom obrazovanju*, Knjiga sažetaka (str.). Split, Hrvatska. • Šimičić, S. (2016). Sekvencijalni pristup obradi nastavne teme Voda u okruženju sustava za e-učenje Moodle. *Magistra ladertina, 10*(1), 23–36. • Šimičić, S., Mrvoš-Sermek, D. (2016). Analiza uloge čestičnog crteža u nastavi kemije i njegova primjena za unaprjeđenje konceptualnog znanja. *Napredak, 157*(1), 91–104. • Šimičić, S., Mrvoš-Sermek, D. (2015). Može li čestični crtež unaprijediti konceptualno razumijevanje u području vodenih otopina kiselina, baza i soli. Ristić, M.(Ur.), *Didaktičko-metodički pristupi i strategije-podrška učenju djece,* Knjiga sažetaka (str. 149) Beograd, Srbija: Učiteljski fakultet. • Šimičić, S., Mrvoš-Sermek, D. (2015). Uporaba čestičnog crteža pri provjeri konceptualne razine znanja u nastavi kemije. Ukić, Š. i Bolanča, T.(Ur.), *24. hrvatski skup kemičara i kemijskih inženjera,* Knjiga sažetaka (str. 82). Zagreb, Hrvatska.

Uspjesi na natjecanjima	• 1. mjesto na Županijskom natjecanju iz ekologije 1997. • 3. mjesto na Županijskom natjecanju iz ekologije 1998. • 1. mjesto na Županijskom natjecanju iz kemije 2003. • 1. i 2.mjesto na Županijskom natjecanju iz kemije 2004. • 1. mjesto na Županijskom natjecanju iz kemije 2005. • 1. i 3.mjesto na Županijskom natjecanju iz kemije 2006. • 1. mjesto na Županijskom natjecanju iz kemije 2007. • Državno natjecanje iz ekologije 1997. • Državna smotra učeničkih zadruga 1997. • 15. mjesto na Državnom natjecanju iz kemije 2003. • 5. mjesto na Državnom natjecanju iz kemije 2004. • 6. mjesto na Državnom natjecanju iz kemije 2005. • 5. mjesto na Državnom natjecanju iz kemije 2006. • 17. mjesto na Državnom natjecanju iz kemije 2007. • 3. mjesto na Županijskom natjecanju iz kemije 2012. • 3. mjesto na Županijskom natjecanju iz kemije 2015.