

Barbara Popovac Tašev

Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Sveučilište u Splitu

barbara.popovac@gmail.com

Anna Alajbeg

Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Sveučilište u Splitu

Učenje pomoću realnih, konvencionalnih i hibridnih ilustracija u nastavi kemije

Sažetak

Ova studija slučaja istražuje sposobnosti učenika sedmih i osmih razreda osnovne škole u interpretaciji makroskopskih prikaza i objašnjavanju submikroskopskih pojava putem čestičnih crteža te kako učenici povezuju makro i mikro razinu u nastavi kemije. Kvalitativna metoda istraživanja, temeljena na intervjuima, korištena je za prikupljanje podataka od učenika koji su analizirali ilustracije iz kemijskih udžbenika. Učenici su odgovarali na pitanja koja se odnose na laboratorijsko posuđe, procese filtracije i destilacije, agregacijska stanja tvari, molekulske strukture te zakon o očuvanju mase. Rezultati analize pokazuju da učenici djelomično uspijevaju interpretirati makroskopske prikaze. Međutim, učenici s nižim ocjenama imaju veće poteškoće, što sugerira nedostatak praktičnog iskustva. U većini slučajeva, učenici su uspješno povezivali čestične modele sa submikroskopskom razinom, ali su pokazali nesigurnosti u razlikovanju elementarnih tvari i kemijskih spojeva. U pogledu povezivanja makro i mikro razine, učenici su pokazali relativno dobar uspjeh. Zaključno, studija ističe potrebu za većim naglaskom na vizualne modele i eksperimentalni rad u nastavi kemije. Ovi elementi su ključni za poboljšanje makroskopskog iskustva učenika i njihovo preciznije razumijevanje kemijskih koncepta.

Ključne riječi: interpretacija, makroskopska razina, submikroskopska razina, čestični modeli, kemijsko obrazovanje.

1. Uvod

Učenje je društveni proces koji se odvija kroz obrazovanje, osobni razvoj ili stručno usavršavanje kojim se kroz iskustvo razvijaju nova znanja, vještine i obrasci ponašanja (Olayide, 2015). Kvaliteta obrazovanja, odnosno kvaliteta nastave, očituje se kroz jasnoću i svrhovitost sadržaja, kvalitetnu interakciju nastavnika i učenika te brigu za njihove emocionalne, fizičke i socijalne potrebe. Potiče se primjenom različitih metoda poučavanja, uključujući problemsku nastavu, projekte, praktične zadatke te istraživački i konceptualni pristup (Andersone, 2016). Kvalitetnu nastavu obilježava poticajno i suradničko okruženje u učionici i školi, u kojem se učenici osjećaju sigurno i zadovoljno, a osigurani su uvjeti za njihov cjeloviti osobni razvoja (Režek, 2014). Prema Stroet i sur. (2013), kada učenici osjećaju da im nastavnici posvećuju pažnju i poštuju ih kao ravnopravne sudionike nastave, razvijaju osjećaj bliskosti i povezanosti što je za učenike motivirajuće. Posebno treba istaknuti važnost strukturiranja nastave na način koji potiče interes i aktivno sudjelovanje učenika, uz podršku strategija kao što su davanje smislenih objašnjenja, poticanje unutarnje motivacije i uključivanje učenika u nastavni proces (Guay i sur., 2013.; Hospel i Galand, 2016). Učenici uče kvalitetnije kada uspiju povezati sadržaj nastave s vlastitim iskustvima i svakodnevnim situacijama (Haryan i sur., 2024). Takvo povezivanje im omogućuje primjenu naučenih vještina u novim kontekstima, dublje razumijevanje nastavnih sadržaja iz različitih perspektiva te temeljitiju obradu informacija, što sve zajedno vodi do uspješnijeg ostvarivanja odgojno-obrazovnih ishoda (Hulleman i sur., 2017). Učenje koje uključuje učenike kao aktivne

sudionike procesa učenja omogućuje im dublje razumijevanje nastavnih sadržaja, osobito kada se uči kroz konkretne primjere, pokuse ili problemske situacije. Ovakav pristup omogućuje učenicima da koriste prethodno stečeno znanje i iskustvo kako bi samostalno došli do rješenja (Adler, 1999). Kemija, kao jedna od temeljnih prirodoslovnih disciplina, bavi se istraživanjem tvari i njihovih promjena. U osnovnoj školi naglasak je na razumijevanju kemije kroz primjenu u svakodnevnom životu i prepoznavanju njezina doprinosa kvaliteti života (MZO, 2018). Učenje kemije zahtijeva složene kognitivne procese – opažanje, logičko zaključivanje i jasnu komunikaciju (Vidović i sur., 2014). Ciljevi nastave uključuju razumijevanje temeljnih koncepata, usvajanje stručne terminologije te razvijanje znanstvenog načina razmišljanja. Učenje prirodoslovlja, osobito kemije, najučinkovitije je kada uključuje eksperimentalni rad i druge oblike aktivnog sudjelovanja učenika. Tijekom izvođenja pokusa učenici razvijaju znanstveni način razmišljanja: planiraju, prikupljaju i analiziraju podatke, prezentiraju rezultate, povezuju rezultate s teorijom te ih evaluiraju (Vrtačnik i sur., 2003; Vrtačnik i sur., 2005). Eksperimenti se mogu izvoditi u stvarnom laboratoriju ili u virtualnom okruženju. Tradicionalni laboratorij i dalje je najčešće korišten u osnovnoškolskoj nastavi, s nezamjenjivim prednostima – učenici mogu neposredno opipati materijale i posude te uočiti oslobađanje topline tijekom reakcija, što virtualni laboratorij ne omogućuje. Virtualni laboratoriji, pak, pružaju sigurnost, ponovljivost, pristupačnost i fleksibilnost. Učenicima su dostupni različiti alati: vizualizacije, simulacije, kvizovi i didaktičke igre, što omogućuje samostalno ili timsko učenje neovisno o vremenu i prostoru. Neka od softverskih rješenja vode učenike korak po korak kroz virtualne eksperimente uz gotove zbirke pokusa. Učenici mogu koristiti gotove eksperimente ili mijenjati parametre poput temperature i koncentracije kako bi istraživali različite ishode. Takav pristup potiče višu razinu kognitivnog učenja i dublje razumijevanje sadržaja (Herga i Dinevski, 2012; Herga i sur., 2014). Istraživanja pokazuju da su prirodoslovni predmeti, osobito kemija, među najmanje omiljenima u hrvatskom osnovnoškolskom obrazovanju (Marušić, 2006), a kao razloge navodi se visoku razinu apstrakcije, slabu povezanost sa svakodnevnim iskustvom učenika te oslanjanje na matematičke vještine (Jokić, 2013). Kemijski pojmovi objašnjavaju se kroz tri razine – makroskopsku, mikroskopsku i simboličku (Devetak, 2012). Uspješno poučavanje kemije zahtijeva njihovo istodobno uključivanje, jer tek njihova integracija omogućuje dublje, konceptualno razumijevanje sadržaja. Bez takvog povezivanja, učenici teško usvajaju cjelovitu sliku kemijskih procesa (Becker i sur., 2015; Devetak i sur., 2009; Nelson, 2003). U tome bitnu ulogu ima vizualizacija, koja uključuje modele, animacije i aplikacije u 2D i 3D obliku, olakšavajući učenicima razumijevanje apstraktnih sadržaja (Marar, 2024; Vogrinc i Devetak, 2007). Iako je tehnologija potrebna za vizualizaciju još uvijek složena i skupa, njezin obrazovni potencijal u nastavi kemije je velik (Robberecht, 2007). U ranim fazama učenja kemije, kada učenici tek upoznaju osnovne pojmove i jednostavne kemijske procese, najvažniju ulogu ima makroskopska razina – jedina koju učenici mogu neposredno opažati. Ipak, tradicionalna nastava često naglašava simboličku i submikroskopsku razinu, što početnicima otežava razumijevanje i može uzrokovati negativan stav prema kemiji (Gabel, 1999; Tsaparlis, 2009; Kapici, 2023). Umjesto toga, poučavanje bi trebalo započeti jednostavnim opažanjima i pokusima, a tek kasnije uvoditi apstraktnije pojmove i modele. U tom smislu, „tricički model” nastave predlaže postupno uvođenje sve tri razine – prvo kroz praktične aktivnosti (makro-ciklus), a potom kroz submikroskopske i simboličke interpretacije, kako bi se učenicima omogućilo postupno i dublje razumijevanje kemijskih pojmova (Georgiadou i Tsaparlis, 2000; Chittleborough, 2004).

Također, naglašava se važnost učeničkih eksperimenata koji povezuju makroskopske pojave sa submikroskopskim čestičnim svijetom. To predstavlja izazov za nastavnike u odabiru prikladnih metoda, modela i strategija poučavanja. Jedan od učinkovitih pristupa je korištenje čestičnih crteža – dvodimenzionalnih prikaza koji pomažu učenicima u vizualizaciji

submikroskopske razine tvari (Šimičić i Mrvoš-Sermek, 2016). Strana istraživanja potvrđuju da takvi vizualni alati pozitivno utječu na uspješnije ostvarivanje odgojno-obrazovnih ishoda (Bridle i Yezierski, 2012; Cheng i Gilbert, 2014; Warfa i sur., 2014).

Prema Chittleboroughu i Treagustu (2007), učenikovo razumijevanje kemijskih koncepata uvelike ovisi o njegovoj sposobnosti tumačenja i primjene kemijskih modela. Istraživanja pokazuju da su te sposobnosti često ograničene, pa je iznimno važno da nastavni modeli budu pažljivo osmišljeni (Ryan i Herrington, 2014). Prirodnoznanstveni modeli ne prikazuju stvarnost u potpunosti, već nude pojednostavljene prikaze ključnih aspekata neke prirodne pojave (Bastić, 2011; Merritt, 2010). Njihova je svrha naglasiti određena svojstva, dok se ostala zanemaruju. Na primjer, model kuglica i štapića omogućuje uvid u kutove među vezama, ali zanemaruje gibanje čestica. Pretjerana složenost modela može učenike zbuniti, stoga je važno izbjegavati preopterećenje detaljima.

Istraživanja pokazuju da učenici često nailaze na prepreke prilikom razumijevanja kemijskih jednadžbi. Nejasnoće se javljaju pri razlikovanju indeksa i koeficijenata (Sanger, 2005), nerazumijevanju razlike između atoma i molekula te pogrešnom tumačenju simbola (Wood i Breyfogle, 2006). Iako neki učenici tehnički točno izjednačavaju jednadžbe, često ne razumiju što one znače, ne mogu predvidjeti produkte niti prikazati reakciju na čestičnoj razini, što upućuje na nedovoljno razumijevanje kemijskih procesa (Davidowitz i sur., 2010; Nyachwaya i sur., 2011).

U nastavi kemije razlikuju se realne ilustracije, koje prikazuju stvarne objekte i pokuse, konvencionalne, koje koriste simbole, dijagrame i formule, te hibridne, koje spajaju oba pristupa. Upravo hibridne ilustracije potiču dublje konceptualno razumijevanje jer povezuju iskustveno i apstraktno (Rončević i sur., 2019).

2. Metodologija istraživanja

Predmet i cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je ispitati mogu li učenici sedmog ili osmog razreda pomoću ilustracije interpretirati prikaze makroskopskog nivoa, zatim mogu li uz pomoć čestičnih crteža ili modela objasniti što se događa na submikroskopskom nivou, te povezuju li makro i mikro nivo.

U skladu s ciljem istraživanja postavljena su sljedeća istraživačka pitanja:

IP₁: Ispitati znaju li učenici sedmog ili osmog razreda osnovne škole interpretirati prezentacije makroskopskog nivoa?

IP₂: Ispitati znaju li učenici sedmog ili osmog razreda osnovne škole povezati model sa submikroskopskim nivoom?

IP₃: Ispitati znaju li učenici sedmog ili osmog razreda osnovne škole povezati makro i mikro nivo?

Na temelju navedenih istraživačkih pitanja, formulirane su sljedeće hipoteze:

- H1: Učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole uspijevaju interpretirati prezentacije makroskopskog nivoa.
- H2: Učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole uspijevaju povezati modele sa submikroskopskim nivoom.
- H3: Učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole uspijevaju povezati makro i mikro nivo.

Ispitanici

U ovom istraživanju sudjelovali su učenici sedmog i osmog razreda osnovne škole. Svi ispitanici su pohađali nastavu u istoj školi i imali istog nastavnika. Ukupan broj ispitanika bio

je $N=7$ od čega 4 učenika sedmog razreda i 3 učenika osmog razreda. Od ukupnog broja ispitanika bilo je 4 učenice i 3 učenika.

Način prikupljanja podataka

Odabir sudionika bio je ciljani uzorak. Svi su ispitanici pohađali nastavu kod istog nastavnika kemije, što je osiguralo ujednačenost nastavnog konteksta. Prije provođenja intervjua, za svakog je učenika pribavljena pisana suglasnost roditelja, kao i informirana suglasnost samih učenika, čime je osigurano njihovo dobrovoljno sudjelovanje i razumijevanje svrhe istraživanja. Podaci su prikupljeni primjenom polustrukturiranih intervjua, što je omogućilo detaljan uvid u razumijevanje kemijskih koncepata kod ispitanika.

Mjerni instrument

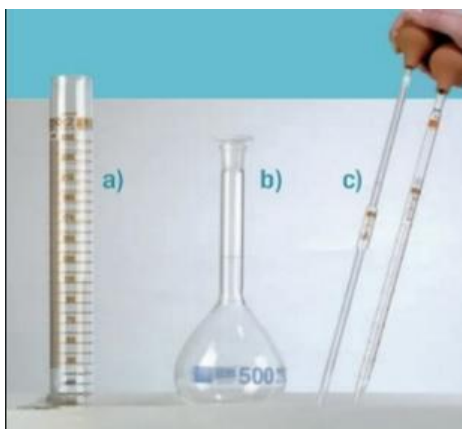
Za potrebe ovog istraživanja korišten je polustrukturirani intervju osmišljen s ciljem ispitivanja razumijevanja osnovnih kemijskih pojmova kod učenika sedmih i osmih razreda osnovne škole. Intervju je sadržavao ilustracije preuzete iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*, izdavačke kuće Profil Klett, čiji su autori Tamara Banović, Karmen Holenda, Sandra Lacić, Elvira Kovač-Andrić i Nikolina Štiglić.

Intervju je proveden u lipnju 2024. godine, a sadržavao je deset pitanja podijeljenih prema nastavnim cjelinama iz kurikuluma kemije za sedmi razred. Iz cjeline *Kemija i njezino značenje* postavljena su pitanja usmjerena na poznavanje kemijskog posuđa i pribora. Pitanja vezana uz tvari, njihova svojstva i otopine temeljila su se na sadržajima iz cjeline *Tvari, vrsta tvari i njihova svojstva*. Jedno pitanje odnosilo se na Zakon o očuvanju mase i bilo je temeljeno na sadržajima cjeline *Tvari i promjene*.

3. Rezultati

U ovom dijelu bit će prezentirani rezultati provedenog istraživanja, strukturirani kroz seriju tablica. Svaka tablica prikazuje odgovore učenika na pitanja iz intervjua, koja su navedena redoslijedom postavljanja. Metodologija intervjuiranja podrazumijevala je sekvencijalno postavljanje pitanja. Prikupljanje odgovora provodilo se nakon svakog pojedinačnog pitanja, osiguravajući da su odgovori na jedno pitanje zabilježeni prije prelaska na sljedeće.

Pitanje 1: Što ova slika prikazuje? Koja je to vrsta posuđa? Razlikuju li se po nečemu menzura i odmjerena tikvica?



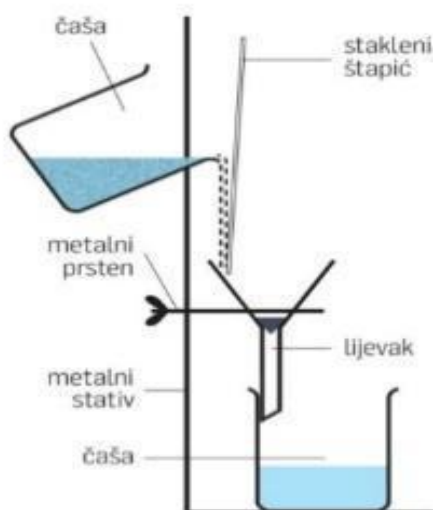
Slika 1. Ilustracija (realna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 1: Prikaz odgovora na prvo pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	Laboratorijsko posuđe,... menoza... meniskus možda ili tako nešto, tikvica s ravnim dnom i ovo je... odmjerne... ne, ovo je pipeta. U menzuri imamo točno napisane sve mililitre. Preciznija je odmjerne tikvica.
Učenik 2	8.	5	Odmjerno posuđe, menzura, odmjerne tikvica i pipeta; stakleno odmjerno posuđe; odmjerne tikvica je preciznija
Učenik 3	8.	5	Epruvetu... mmm, zaboravio sam kako se ovo zove..., za volumen mjerit, ovo drugo je eustahijeva..., a ovo treće je... kapaljka.; kemijski pribor; menzura ima po cijeloj dužini oznake koliko je napunjeno, a odmjerne ima samo jednu crticu-menzura je preciznija
Učenik 4	7.	4	Posuđe za mjerenje, stakleno odmjerno posuđe, menzura, odmjerne tikvica i pipeta; menzura je približno odmjeravanje, a odmjerne tikvica za točno
Učenik 5	7.	3	Prikazuje instrumente za pokuse u kemiji, pribor u kemiji, posuđe za izmjeriti tekućinu; to je e da mi se sjetit te riječi... mjerilo..., tikvičasto ono... tikvičasto mjerilo, pipeta; razlikuju se po izgledu, valjda po volumenu, preciznije bi bilo mjerilo, ovo prvo
Učenik 6	7.	5	Stakleno posuđe za mjerenje, menzura, odmjerne tikvica, pipeta; menzura je za približno odmjeravanje, a odmjerne tikvica za precizno
Učenik 7	7.	5	Menzura, odmjerne tikvica, pipeta; odmjerno posuđe; menzura je preciznija i odmjerne tikvica ima zaobljen donji dio

Odgovori učenika ukazuju na djelomičnu točnost u razumijevanju i interpretaciji postavljenih pitanja.

Pitanje 2: Ovo je skica jedne aparature. Možeš li mi reći čemu služi ova aparatura? Opiši postupak filtracije prema slici.

Slika 2. Ilustracija (realna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 2: Prikaz odgovora na drugo pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	za filtriranje... iz čaše ulazi u ljevak voda, u ljevku stoji filtrat, kroz to se filtrira i na tome ostaje talog, a dole ulazi filtrat.
Učenik 2	8.	5	Ovo je filtracija; iz čaše se neka heterogena smjesa izliva uz stakleni štapić da se ne bi prolijevalo, imamo metalni stativ koji drži ljevak u kojem se nalazi filter papir, ulijevanjem smjese, čvrsti dio će ostati na papiru, a tekući dio će proći kroz ljevak u drugu čašu
Učenik 3	8.	5	Za filtriranje; tvar koja je u čaši, ulijevamo je u ljevak u kojem je filter papir kroz koji se dolje ulijeva tekućina u kojoj sve ono što nije otopljeno u toj tekućini neće proći kroz taj filter papir, dolje će proći samo ono što je otopljeno ili ništa, a na filter papiru ostati će talog
Učenik 4	7.	4	Filtraciju...?; iz čaše u kojoj je voda...(Na moje pitanje „Voda?”- odgovara tekućina), pomoću staklenog štapića, u ljevku je filter papir kroz koji tekućina prolazi i na njemu ostaju sitni komadići (na pitanje „što su sitni komadići” odgovara nečiste tvari, krupne), a ostatak koji se zove filtrat prolazi u čašu
Učenik 5	7.	3	Ovo bi moglo bit za razdvajanje nečega, npr. voda i sol ili ulje, nije isparavanje... proces..., ne znam. Kredu i vodu ulijemo u ovo i vjerojatno bi se na ovom metalnom prstenu zaustavio, u ljevku je ono za procijedit na kojem bi ostala kreda gore, a voda bi otišla doli.
Učenik 6	7.	5	Za filtraciju; čaša u kojoj se nalazi tekućina, iz nje ulijevamo u ljevak u kojem se nalazi filter papir koji zadržava krute tvari iz te tekućine na sebi, a propušta ostatak tekućine u drugu čašu, to je filtrat
Učenik 7	7.	5	Za prelijevanje tvari u neku čašu, ima nešto u ljevku...nemam pojma... (na moju malu pomoć da se u čaši nalazi smjesa krede i vode odgovara: „Pa to bi trebala biti filtracija, ali gdje je tu filter papir?”) to je za filtriranje; ako treba filtrirati npr. voda i kreda, uzmem filter papir i ljevak i ulijemo tu tvar, tu vodu u taj filter papir i na filter papiru ostane kreda, a voda procuri pošto je tekućina.

Odgovori učenika ukazuju na djelomičnu točnost u razumijevanju i interpretaciji postavljenih pitanja.

Pitanje 3: Ovdje je jedan čestični crtež tvari u čvrstom, tekućem i plinovitom agregacijskom stanju. Što mi možeš reći o položaju čestica i njihovom kretanju?

Slika 3. Ilustracija (hibridna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 3: Prikaz odgovora na treće pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	Čvrsto-čestice su čvrsto i stabilno spojene i uopće se ne kreću, u tekućem su malo raširenije i imaju laganije kretanje, znači, malo bolje kretanje od čvrstih, tj. više se kreću. U plinovitom su skroz razdvojene i tu imaju najviše pokreta tj. titranja
Učenik 2	8.	5	U čvrstom agregacijskom stanju čestice se ne kreću, posložene su u pravilan oblik; u tekućem su malo više razbacane, ima više prostora između njih više se kreću, a u plinovitom ima još više prostora između njih i još više se kreću.
Učenik 3	8.	5	U čvrstom se jako malo kreću i gušće su namještene nego u druga dva; u tekućem se malo više kreću i rjeđe su, a u plinovitom još rjeđe su i puno više titraju
Učenik 4	7.	4	Za čvrsto: ne mogu se kretati, čvrsto su povezane; za tekuće su slabije povezane, ali se mogu gibati malo više i u plinovitom nisu uopće vezane i kreću se
Učenik 5	7.	3	Kad je čvrsto one su zbijene jer to je kao zaleđeno i ne kreću se, tekuće - one su malo više raštrkane, malo su se počele kretati kako je voda otopljena, a u plinovitom su raštrkani sa svih strana
Učenik 6	7.	5	U čvrstom stanju su zbijene i čvrsto povezane i ne kreću se; u tekućem su malo slobodnije i kreću se malo više; au plinovitom su skroz slobodne i puno se kreću
Učenik 7	7.	5	U čvrstom stanju čestice su skupljene, jedva titraju; u tekućem su razdvojene, titraju više i da, međusobno se gibaju; u plinovitom se gibaju na sve strane i sudaraju se, raštrkane su

Odgovori učenika upućuju na to da u većini slučajeva točno interpretiraju i odgovaraju na postavljena pitanja.

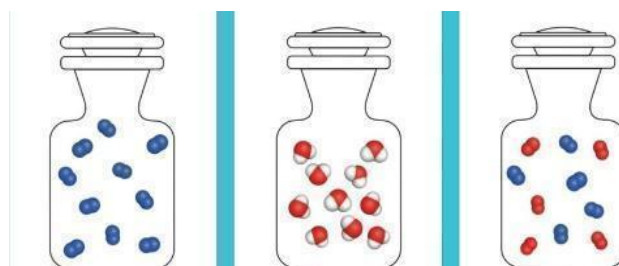
Pitanje 4: Temeljem prethodnog pitanja, možeš li mi nacrtati čestični crtež za vodu u sva tri agregacijska stanja?

Tablica 4: Prikaz odgovora na četvrto pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8	3	
Učenik 2	8	5	
Učenik 3	8	5	
Učenik 4	7	4	
Učenik 5	7	3	
Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 6	7	5	
Učenik 7	7	5	

Odgovori učenika, promatrajući samo međučestične prostore, upućuju na to da točno interpretiraju i odgovaraju na postavljena pitanja.

Pitanje 5: Ako znamo da plava kuglica prikazuje atom dušika, crvena-atom kisika, a bijela atom vodika, možeš li mi reći što prikazuje ova slika?

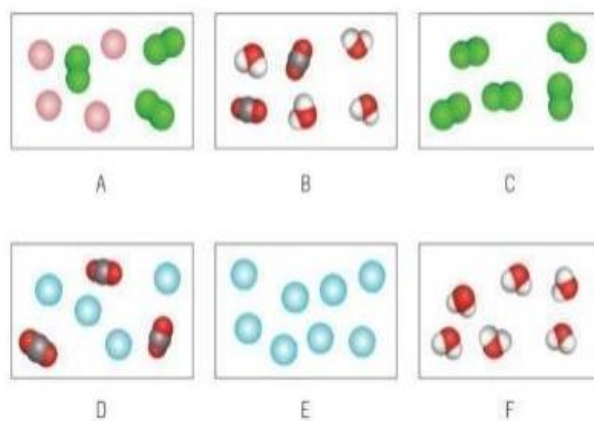
Slika 4. Ilustracija (konvencionalna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 5: Prikaz odgovora na peto pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	a) Samo atome dušika; b) molekule vode; c) pomiješane molekule dušika..., tj. atome dušika i kisika. Nakon potpitanja je li atom ili molekula dušika..., aha molekula jer su spojene dvije kuglice, izgledalo mi je kao jedna kuglica.
Učenik 2	8.	5	a) N ₂ -to je molekula dušika, puno molekula dušika, elementarna tvar; b) molekule vode-to je kemijski spoj; c) zasebne molekule dušika i kisika
Učenik 3	8.	5	a) molekula dušika, elementarna tvar; b) molekula vode... nije elementarna tvar nego samo tvar; c) molekula dušika i kisika odvojeno, nije kemijski spoj nego onaj drugi spoj, ne, ne nego smjesa
Učenik 4	7.	4	a) deset molekula dušika (dušik je plin); b) voda, 10 molekula vode; c) 5 molekula kisika i 5 molekula dušika
Učenik 5	7.	3	a) dva dušika...dvije kuglice je... šta... onda molekula, deset molekula dušika; b) znači kisik i vodik, to bi bile..., što ono imamo elementarnu tvar i..., imamo H ₂ O, to bi bila voda, to bi bile jednadžbe; c) molekule dušika i molekule kisika, kad ih pomiješamo dobijemo kemijski spoj
Učenik 6	7.	5	a) deset molekula dušika; b) deset molekula vode; c) smjesa 5 molekula kisika i 5 molekula dušika. U prvoj posudi je elementarna tvar, a u drugoj kemijski spoj
Učenik 7	7.	5	a) molekule dušika, u posudi se nalazi dušik, to je elementarna tvar; b) voda, molekule vode; c) molekule kisika i dušika, to je smjesa

Odgovori učenika u odnosu na očekivane odgovore da ilustracija prikazuje elementarnu tvar (molekule dušika), kemijski spoj (voda) i smjesu dušika i kisika ukazuju na djelomičnu točnost u razumijevanju i interpretaciji postavljenih pitanja.

Pitanje 6: Kao u prethodnom zadatku možeš li mi reći što prikazuje pojedina slika?

Slika 5. Ilustracija (konvencionalna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 6: Prikaz odgovora na šesto pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	Hm..., a) prikaz smjese nekog atoma i molekule; b) smjesa vode i nečega još; c) spoj molekula, elementarna tvar; d) spoj molekula i atoma. Na potpitanje kako misliš spoj, odgovorio je, zajedno se nalaze...smjesa; e) samo atomi, to nije smjesa, to je elementarna tvar; f) to je elementarna tvar...to su molekule vode
Učenik 2	8.	5	a) smjesa atoma i molekula; b) smjesa kemijskih spojeva; c) elementarna tvar; d) smjesa kemijskih spojeva i elementarnih tvari; e) elementarna tvar; f) kemijski spoj odnosno voda
Učenik 3	8.	5	a) smjesa elementarnih tvari; b) smjesa kemijskih spojeva; c) samo elementarna tvar; d) smjesa elementarnih tvari i kemijskih spojeva; e) elementarna tvar; f) kemijski spojevi
Učenik 4	7.	4	a) smjesa elementarnih tvari; b) smjesa kemijskih spojeva; c) elementarne tvari; d) smjesa elementarnih tvari i kemijskih spojeva; e) samo elementarne tvari; f) samo kemijski spojevi
Učenik 5	7.	3	a) atom i molekula-smjesa; b) molekule-kemijski spoj; c) kemijski spoj (na moje čuđenje „molim?!“ odgovara elementarna tvar; d) smjesa elementarnih tvari i molekula, kemijskih spojeva; e) to su atomi, to je elementarna tvar; f) kemijski spoj
Učenik 6	7.	5	a) smjesa elementarnih tvari; b) smjesa molekula, smjesa kemijskih spojeva; c) smjesa elementarnih tvari; d) ufff... pod e) elementarne tvari samo; pod d) smjesa elementarnih tvari i kemijskih spojeva; f) kemijski spojevi
Učenik 7	7.	5	a) smjesa čestica... elementarnih tvari; b) spoj kemijski, smjesa kemijskih spojeva; c) elementarna tvar; d) mmm... smjesa elementarnih tvari i kemijskih spojeva; e) ovo su samo elementarne tvari; f) kemijski spojevi

U odnosu na očekivane odgovore da ilustracija prikazuje redom smjesu elementarnih tvari, smjesu kemijskih spojeva, elementarnu tvar, smjesu elementarne tvari i kemijskog spoja, elementarnu tvar i kemijski spoj, odgovori učenika ukazuju na djelomičnu točnost u razumijevanju i interpretaciji postavljenih pitanja.

Pitanje 7: Na ovoj slici je prikazan postupak destilacije vodene otopine modre galice. Pomoću crteža objasni postupak.

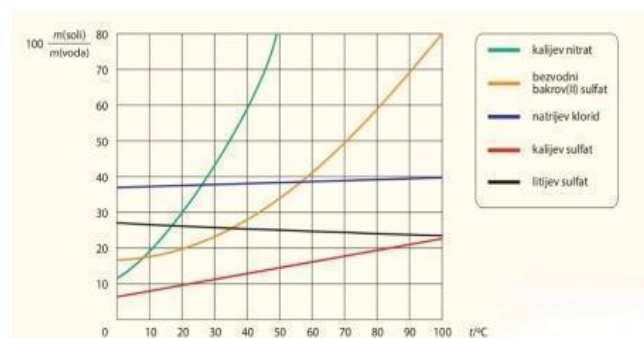
Slika 6. Ilustracija (realna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 7: Prikaz odgovora na sedmo pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	U tikvicu za destilaciju stavljamo otopinu modre galice, palimo vatru... gore imamo Liebigovo hladilo, gore imamo izlaz za vodu gdje izlazi vodena para, od ispod imamo za hladnu vodu što dovodi do toga da dole izlazi samo modra galica
Učenik 2	8.	5	U stalku stoji tikvica za destilaciju koja je iznad plamenika, zagrijava se, termometrom mjerimo temperaturu, modra galica će ostati istaložena, a voda će isparit, proći će kroz Liebigovo hladilo i kupi se kao destilat
Učenik 3	8.	5	Samo sekunda..., u tikvici za destilaciju imamo otopinu modre galice i vode, plamenik je na točnoj temperaturi..., voda ima manje talište, tj. manje vrelište od modre galice, na 100°C će doći do isparavanja vode, voda će ići u Liebigovo hladilo u kojem će se ohladiti i ući u Erlenmeyerovu tikvicu, a u tikvici za destilaciju ostat će kemijska smjesa
Učenik 4	7.	4	Znači, u tikvici za destilaciju nalazi se modra galica i ispod je plamenik koji zagrijava, s time modra galica gubi vodu i boju zato što joj voda daje boju, vodena para prolazi kroz Liebigovo hladilo, ostatak vode koji je ispario prelazi u destilat u Erlenmeyer tikvicu, a u tikvici ostaje modra galica
Učenik 5	7.	3	U tikvicu ubacujemo modru galicu i vodu i kako isparava jer je grijemo plamenikom, vodena para se pomoću Liebigovog hladila... kao... modra galica ostaje na dnu, a vodena para se diže i ide u Liebigovo hladilo koje nju hladi i pretvara je u vodu i tu ona ulazi kroz lulu u Erlenmeyerovu tikvicu i postaje destilat
Učenik 6	7.	5	Vodena otopina modre galice se nalazi u tikvici za destilaciju, ispod nje je plamenik pomoću kojeg zagrijavamo tikvicu, isparava voda, nastaje vodena para i prelazi u Liebigovo hladilo i opet se pretvara-kondenzira u vodu koja na kraju izlazi u Erlenmeyerovu tikvicu i postaje destilat
Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 7	7.	5	Imamo tikvicu za destilaciju, imamo plamenik ispod tikvice... (opisala je u potpunosti aparaturu za destilaciju) modra galica se zagrijava i pretvori se u plinovito stanje (uz moju napomenu da je u tikvici za destilaciju vodena otopina modre galice), aha..., onda će voda bit u plinovitom stanju, postat će vodena para i ide u Liebigovo hladilo i onda se hladi i postaje tekuća i ulazi u Erlenmeyerovu tikvicu kao destilat

U odnosu na očekivani odgovor da zagrijavanjem vodene otopine modre galice dolazi do isparavanja vode (prelazi u plinovito agregacijsko stanje pri 100 °C) koja prolaskom kroz Liebigovo hladilo kondenzira u tekućinu (destilat), a u tikvici za destilaciju ostaje modra galica, odgovori učenika ukazuju na djelomičnu točnost u razumijevanju i interpretaciji postavljenih pitanja.

Pitanje 8: Na ovoj slici prikazane su krivulje topljivosti nekih soli u vodi. Koja je sol najbolje topljiva u vodi pri 20°C? Kakva je topljivost soli NaCl porastom temperature, a kakva KNO₃?

Slika 7. Ilustracija (konvencionalna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 8: Prikaz odgovora na osmo pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	Kalijev nitrat... ne, ne... ipak mislim da je natrijev klorid; raste topljivost; isto raste
Učenik 2	8.	5	Ovamo su stupnjevi... mmm... NaCl; topljivost raste porastom temperature; naglo raste topljivost porastom temperature
Učenik 3	8.	5	Samo sekunda... ovdje je temperatura... najviše će se otopiti NaCl; porastom temperature će se sve više i više topiti, ali ne toliko više, otprilike isto; povećat će se ali će u jednom trenu stat, ali naglo raste
Učenik 4	7.	4	NaCl; mala... „malo raste; naglo se diže
Učenik 5	7.	3	Pri 20... bi bila NaCl; diže se ali ne puno; ima dosta veći porast temperature, topljivosti tijekom porasta temperature, brže se topi
Učenik 6	7.	5	NaCl; blago se povećava; naglo se povećava topljivost
Učenik 7	7.	5	NaCl; raste topljivost, usporeno; jako brzo raste

Odgovori učenika upućuju na to da točno očitavaju vrijednosti na grafu te uočavaju razliku u topljivosti soli s obzirom na izgled krivulje.

Pitanje 9: Na prvoj slici, tableta je soda bikarbona, a u tikvici je octena kiselina. Kada se te dvije tvari pomiješaju, kao jedan od produkata nastaje plin ugljikov (IV)oksid. Objasni sliku. Koji zakon ovdje uočavaš?

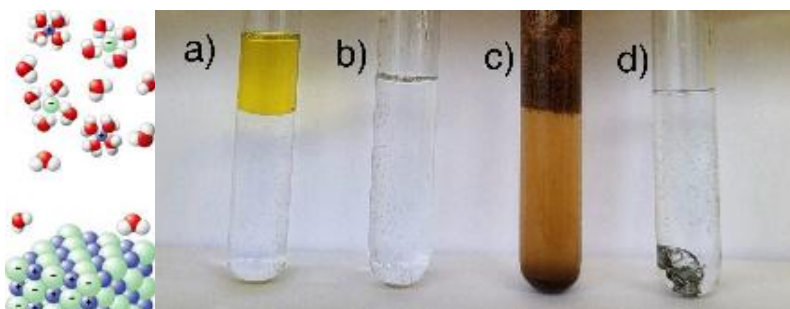
Slika 8. Ilustracija (realna) iz udžbenika *Kemija za 7. razred osnovne škole*

Tablica 9: Prikaz odgovora na deveto pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	...vidi se otapanje sode bikarbone u kiselini i nastajanje plina, kilaža se ne mijenja; ...zakon o jednakoj masi, ako skinemo balon masa će postati manja
Učenik 2	8.	5	Po balonu možemo vidjeti da se dogodila reakcija, gdje je soda bikarbona reagirala s kiselinom, ali nije se promijenila masa, bez obzira na kemijsku reakciju koja se dogodila sve tvari su tu prisutne, ugljikov dioksid je ostao u balonu. Ako maknemo balon, ugljikov dioksid će izaći i masa će se malo smanjiti. Masa se ne mijenja-zakon o očuvanju mase.
Učenik 3	8.	5	Kad se pomiješaju te dvije tvari nastaje CO_2 , a pošto je on plin, ispunit će volumen ove tikvice i onda će preći na ispunjavanje balona i zato će se balon napuhat; masa će ostat ista kroz cijeli proces zato što masa na početku nekog procesa mora biti jednaka i na kraju, ako se ništa ne doda ili izgubi; to je zakon mase u kemiji, ako skinemo balon isparit će CO_2 i koliko je bilo CO_2 toliko će se smanjit masa
Učenik 4	7.	4	Znači, ubacili smo tabletu sode bikarbone unutra i oslobađanjem CO_2 se dizao zrak, a mi smo stavili balon preko, balon se punio zrakom, punio se s CO_2 . nema promjene mase. To je zakon o masi, o očuvanju mase.
Učenik 5	7.	3	Kad stavimo sodu bikarbonu u tekućinu i stavimo balon, nastaje ugljikov(IV)oksid i zbog toga bi se napuhao balon, ista je kilaža prije i poslije, to je zakon o masi u prirodi
Učenik 6	7.	5	Ubacivanjem tablete sode bikarbone u tikvicu, stvara se ugljikov (IV)oksid i pritom stavljamo balon na vrh i kako se oslobađa CO_2 i puni balon, masa se nije promijenila i to se zove Zakon o očuvanju mase. Ako skinemo balon ugljikov(IV)oksid je otišao i masa će se smanjiti.
Učenik 7	7.	5	Kad se ta tableta stavi unutra nastaje plin i stavi se balon i taj ugljikov(IV)oksid odlazi u taj baloni puni ga; masa je ista, to je Zakon o očuvanju mase, ako balon skinemo izaći će ugljikov(IV)oksid i masa će ostat ista

Analiza odgovora učenika, u odnosu na očekivani odgovor da miješanjem sode bikarbone i octene kiseline dolazi do kemijske reakcije pri kojoj se oslobađa plin ugljikov dioksid koji ispunjava tikvicu i napuhuje balon, a o jednakom iznosu masa prije i poslije reakcije govori nam Zakon o očuvanju mase, ukazuje da učenici uglavnom točno interpretiraju zadatke i adekvatno odgovaraju na postavljena pitanja osim malih pogrešaka pri izražavanju.

Pitanje 10: Na slici je prikazan jedan trenutak otapanja soli. U kojoj od četiri prikazane epruvete je sadržaj koji odgovara procesu otapanja soli koji je tekao do kraja?



Slika 9. Ilustracija (hibridna) iz internetskog izvora i privatnog albuma

Tablica 10: Prikaz odgovora na deseto pitanje

Učenik	Razred	Ocjena	Odgovor
Učenik 1	8.	3	b
Učenik 2	8.	5	b
Učenik 3	8.	5	Aha, znači,...ulaze molekule vode, onda se razdvajaju pozitivni i negativni ioni u soli, oni su jedna svoja tvar tako da...b-nije,...(na moju reakciju „molim?!“) ja sam mislio da će mi ostati trag od soli i da će biti nešto odvojeno
Učenik 4	7.	4	b
Učenik 5	7.	3	Znači otišlo je ča..., kao da bi voda cijela isparila, kad proces dođe do kraja, otopit će se, odgovor b)
Učenik 6	7.	5	b, jer se sol otopila i ne možemo je vidjeti, postala je homogena smjesa
Učenik 7	7.	5	b

Analiza odgovora učenika ukazuje da uglavnom točno interpretiraju zadatke i adekvatno odgovaraju na postavljena pitanja osim jednog učenika koji nije slušao pitanje do kraja i nije uzeo u obzir da je proces otapanja tekao do kraja.

4. Rasprava

Odgovor na prvo istraživačko pitanje, „Znaju li učenici sedmog ili osmog razreda osnovne škole interpretirati prezentacije makroskopskog nivoa?“, bio je izveden analizom odgovora ispitanika na pitanja 1, 2 i 7 iz intervjua. Temeljem učeničkih odgovora može se zaključiti da učenici djelomično mogu interpretirati ilustracije makroskopskog nivoa te se prva hipoteza djelomično prihvaća. Naime, učenici s nižim ocjenama pokazuju slabije razumijevanje što može ukazivati na nedostatak makroskopskog iskustva, što potvrđuje istraživanje Derman i Ebenezer (2020) koje ističe da više reprezentacija poboljšava razumijevanje kemijskih pojmova kod djece. Stoga bi bilo korisno u nastavu uvesti više eksperimentalnog rada – ne samo demonstracijskih pokusa nego i aktivnog sudjelovanja učenika u pokusima. Prema Syahmel (2020), model učenja koji kombinira praktični rad s višestrukim reprezentacijama, pokazuje da takav pristup dovodi do boljeg razumijevanja i kritičkog mišljenja. Također, učenici se oslanjaju na prisjećanje naučenih nastavnih sadržaja umjesto da opisuju priloženu fotografiju ili skicu, što ukazuje na potrebu za strukturiranim vizualnim poticajima i jasnim vođenim upitima prilikom interpretacije (Chang, 2022).

Odgovor na drugo istraživačko pitanje, „Znaju li učenici sedmog ili osmog razreda osnovne škole povezati model tip sa submikroskopskim nivoom?“, bio je izveden analizom odgovora ispitanika na pitanja 3, 4, 5, 6 i 8 iz intervjua. Ovdje su učenici djelomično točno odgovarali na postavljena pitanja. Iz rezultata ove analize možemo zaključiti da se druga hipoteza djelomično prihvaća. Učenici djelomično uspješno povezuju prikazane modele sa submikroskopskim nivoom, dobro razlikuju položaj i kretanje čestica u sva tri agregacijska stanja, čitaju graf topljivosti soli u ovisnosti o temperaturi te uglavnom razumiju što prikazuje atom i molekulu. Ovi rezultati ukazuju da jasno strukturirani vizualni modeli mogu značajno podržati učenikovo razumijevanje submikroskopskog svijeta (Scott, 2021); Ardac i Akaygun (2005). Samo su nesigurni kod prikaza elementarne tvari i kemijskog spoja. Nedovoljno jasno formulirana pitanja mogla su doprinijeti uočenoj nesigurnosti učenika pri razlikovanju elementarnih tvari i kemijskih spojeva. Ova opažanja sugeriraju da jasnoća i preciznost postavljenih pitanja imaju značajan utjecaj na sposobnost učenika da točno izražavaju svoje razumijevanje koncepata.

Odgovor na treće istraživačko pitanje, „Znaju li učenici sedmog ili osmog razreda osnovne škole povezati makro i mikro nivo?“, bio je izveden analizom odgovora ispitanika na

pitanja 9 i 10 iz intervjua. Odgovori su uglavnom točni te se treća hipoteza uglavnom prihvaća, odnosno učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole uspijevaju povezati makro i mikro nivo. Samo se kod jednog učenika odgovor na deseto pitanje posebno ističe. Smatram da je do pogrešnog interpretiranja odgovora došlo zbog nerazumijevanja samog procesa otapanja. Ovakvo razmišljanje potvrđuje istraživanje koje je proveo Talanquer (2009), koji ističe da učenici često koriste intuitivne i svakodnevne predodžbe kada objašnjavaju kemijske pojave, što dovodi do pogrešnih zaključaka. Poteškoće učenika u razlikovanju završetka procesa ukazuje na slabu povezanost makroskopske i mikroskopske razine, što je prepoznat kao čest izazov kod učenika osnovnih škola (Vosniadou i sur., 2001). U analizi odgovora nužno je razmotriti i ulogu same formulacije pitanja. Jezična preciznost i način postavljanja pitanja ključni su za to kako učenici interpretiraju znanstvene koncepte (Novak, 1990). U ovom slučaju, čini se da učenik nije u potpunosti percipirao dio pitanja koji se odnosi na otopinu „gdje je proces tekao do kraja”. To je dovelo do pogrešnog zaključka da mora ostati vidljivi „trag od soli” ili „nešto odvojeno”, što sugerira da se fokusirao na makroskopski vidljivi ostatak, a ne na potpunu otopljenost tvari. Ova interpretacija naglašava kako se čak i suptilne lingvističke nijanse u intervjuu mogu odraziti na učenikovo razumijevanje i konačni odgovor.

5. Zaključak

Na temelju provedene analize učenčkih odgovora na postavljena pitanja, doneseni su sljedeći zaključci u vezi s istraživačkim pitanjima. Utvrđeno je da učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole djelomično mogu interpretirati prezentacije makroskopskog nivoa. Zaključeno je da učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole djelomično mogu povezati modele sa submikroskopskim nivoom. Pokazalo se da učenici sedmih i osmih razreda osnovne škole uglavnom uspješno povezuju makro i mikro nivo.

Dakle, možemo reći da učenici sedmog ili osmog razreda osnovne škole uglavnom znaju interpretirati prikazane ilustracije. Malo veći problem im predstavlja interpretiranje makroskopskog nivoa, a kao uzrok tomu moglo bi biti nedovoljno makroskopskog iskustva koje bi se moglo nadoknaditi uvođenjem više eksperimentalnog rada. Ostala pitanja imaju manje pogrešnih interpretacija iako su učenici poprilično nespretni u izražavanju, a isto tako smatramo da je do nekih pogrešnih odgovora došlo i zbog učenčkih pokušaja prisjećanja naučenih nastavnih sadržaja umjesto da se koncentriraju na samu ilustraciju.

6. Prednosti i nedostaci

Ovaj rad predstavlja preliminarni uvid u razumijevanje osnovnih kemijskih pojmova kod učenika sedmih i osmih razreda osnovne škole. Istraživanje pruža empirijske podatke o tome kako učenici "čitaju" i razumiju vizualne reprezentacije složenih kemijskih koncepata. Ovaj rad može poslužiti kao polazište za buduća, opsežnija istraživanja na ovom području. Nedostatak ovog istraživanja vidimo u činjenici da je mali broj ispitanika, te da se stoga ne može generalizirati i teško je doći do zaključaka koji bi mogli utjecati na nastavni proces, a samim tim i učenje, odnosno sticanje znanja kod učenika.

7. Literatura

- Adler, R. W. (1999). Five ideas designed to rile everyone who cares about accounting education. *ACCOUNTING EDUCATION-LONDON*-, 8, 241-247.
- Andersone, R. (2016). Quality of Teaching in Modern School. In *The Proceedings of the International Scientific Conference Rural Environment. Education. Personality (REEP)* (Vol. 9, pp. 53-58).

- Ardac, D., & Akaygun, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International journal of science education*, 27(11), 1269-1298.
- Banović, T., Holenda, K., Lacić, S., Kovač-Andrić, E., i Štiglić, N. (2020). Kemija 7. Udžbenik kemije za sedmi razred osnovne škole.
- Bastić, M. (2011). *Primjena trodimenzionalnog modela u procesu stjecanja znanja o konceptu tvari u osnovnoj školi* (Doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet 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(4), 769-785.
- Bridle, C. A., & Yeziarski, 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(2), 192-198.
- Chang, H. Y. (2022). Science teachers' and students' metavisualization in scientific modeling. *Science Education*, 106(2), 448-475.
- Cheng, M. M. W., & Gilbert, J. K. (2014). Teaching stoichiometry with particulate diagrams—Linking macro phenomena and chemical equations. *Science teachers' use of visual representations*, 123-143.
- Chittleborough, G. (2004). *The role of teaching models and chemical representations in developing students' mental models of chemical phenomena* (Doktorski rad, Curtin University).
- Chittleborough, G., & Treagust, D. F. (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.
- 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(3), 154-164.
- Derman, A., & Ebenezer, J. (2020). The effect of multiple representations of physical and chemical changes on the development of primary pre-service teachers cognitive structures. *Research in Science Education*, 50, 1575-1601.
- Devetak, I. (2012). Zagotavljanje kakovostnega znanja naravoslovja s pomočjo submikroreprezentacij, Analiza ključnih dejavnikov zagotavljanja kakovosti znanja v vzgojno–izobraževalnem sistemu [The Analysis of the Key Factors in Ensuring the Quality of Knowledge in Educational System]. *Ljubljana: Faculty of Education, University of Ljubljana*.
- Devetak, I., Lorber, E. D., Jurišević, M., & Glažar, S. A. (2009). Comparing Slovenian year 8 and year 9 elementary school pupils' knowledge of electrolyte chemistry and their intrinsic motivation. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(4), 281-290.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical education*, 76(4), 548.
- 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.
- Guay, F., Ratelle, C., Larose, S., Vallerand, R. J., & Vitaro, F. (2013). The number of autonomy-supportive relationships: Are more relationships better for motivation, perceived competence, and achievement?. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 375-382.

- Haryani, E., Cobern, W. W., Pleasants, B. A. S., & Feters, M. K. (2024). Exploring pedagogical strategies: Integrating 21st-century skills in science classrooms. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, 10(2), 106-119.
- Herga, N. R., Grmek, M. I., & Dinevski, D. (2014). Virtual Laboratory as an Element of Visualization When Teaching Chemical Contents in Science Class. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 13(4), 157-165.
- Herga, N., & Dinevski, D. (2012). Virtual Laboratory in Chemistry-Experimental Study of Understanding, Reproduction and Application of Acquired Knowledge of Subject's Chemical Content. *Organizacija*, 45(3), 108-116.
- Hospel, V., & Galand, B. (2016). Are both classroom autonomy support and structure equally important for students' engagement? A multilevel analysis. *Learning and Instruction*, 41, 1-10.
- Hulleman, C. S., Kosovich, J. J., Barron, K. E., & Daniel, D. B. (2017). Making connections: replicating and extending the utility value intervention in the classroom. *Journal of Educational Psychology*, 109(3), 387.
- Jokić, B. (2013). *Science and religion in Croatian elementary education: Pupils' attitudes and perspectives* (No. 34). Institute for Social Research.
- Kapici, H. Ö. (2023). From Symbolic Representation to Submicroscopic One: Preservice Science Teachers' Struggle with Chemical Representation Levels in Chemistry. *International Journal of Research in Education and Science*, 9(1), 134-147.
- Marar, R. (2024). Revolutionizing 3D Animation & 3D Modeling Education: A Comprehensive Study on the Impact of Blended Learning. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 24(7), 36-44.
- Marušić, I. (2006). Nastavni program iz perspektive učenika.
- Merritt, J. D. (2010). *Tracking students' understanding of the particle nature of matter* (Doctoral dissertation, University of Michigan).
- Ministarstvo znanosti i obrazovanja (2018), Nacionalni kurikulum nastavnog predmeta kemija, Zagreb: Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH.
- Nelson, P. G. (2003). Basic chemical concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(1), 19-24.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of research in science teaching*, 27(10), 937-949.
- Nyachwaya, J. M., Mohamed, A. R., Roehrig, G. H., Wood, N. B., Kern, A. L., & Schneider, 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(2), 121-132.
- Olayide, O. E. (2015). Qualitative Teaching and Teaching Methodology. Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu. *Voda*. <https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/14obk-p3-voda.pdf>
- Rončević, T. N., Sedlar, A., Rodić, D. D., & Segedinac, M. D. (2019). Hybrid images as part of the primary school chemistry class instruction: Mastering the concepts of amino acids and proteins. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(6), 644-655.
- Režek, S. (2014). Ispravno postavljanje ciljeva. *Školske novine*, 33, 19.
- Robberecht, R. (2007). Interactive nonlinear learning environments. *Electronic Journal of e-learning*, 5(1), pp59-68.
- Ryan, S., & Herrington, D. G. (2014). Sticky ions: A student-centered activity using magnetic models to explore the dissolving of ionic compounds. *Journal of Chemical Education*, 91(6), 860-863.

- Sanger, M. J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of chemical education*, 82(1), 131-134.
- Scott, F. (2021). Metavisualisation helps with mental models. *Education in Chemistry*.
- Šimičić, S., & Mrvoš-Sermek, D. (2016). Analiza uloge čestičnog crteža u nastavi kemije i njegova primjena za unaprjeđenje konceptualnog znanja. *Napredak: Časopis za interdisciplinarna istraživanja u odgoju i obrazovanju*, 157(1-2), 91-104.
- Stroet, K., Opdenakker, M. C., & Minnaert, A. (2013). Effects of need supportive teaching on early adolescents' motivation and engagement: A review of the literature. *Educational research review*, 9, 65-87.
- Syahmel, S. (2020). Utilization of multiple representations in science learning. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1567).
- Talanquer, V. (2009). On cognitive constraints and learning progressions: The case of "structure of matter". *International Journal of Science Education*, 31(15), 2123-2136.
- Tsaparlis, G. (2009). Learning at the macro level: The role of practical work. In *Multiple representations in chemical education* (pp. 109-136). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Vizek Vidović, V., Rijavec, M., Vlahović-Štetić, V., & Miljković, D. (2014). *Psihologija obrazovanja*. Zagreb: IEP; Ver.
- Vogrinc, J., & Devetak, I. (2007). Ugotavljanje učinkovitosti uporabe vizualizacijskih elementov pri pouku naravoslovja s pomočjo pedagoškega raziskovanja.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A., & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and instruction*, 11(4-5), 381-419.
- Vrtačnik, M., Ferk, V., Fir, M., Dolničar, D., Renič, V., Potisk, B., & Pozdrec, N. (2003). Dinamična vizualizacija naravoslovnih pojmov s poskusi in modeli. [Dynamic visualization of scientific concepts, experiments and models]. *Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering*.
- Vrtačnik, M., Glažar, S. A., Ferk, V., Pahor, V., Keuc, Z., & Sodja, V. (2005). Kako uspešneje poučevati in učiti se kemijo. *Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo*.
- 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*, 91(6), 784-792.
- Wood, C., & Breyfogle, B. (2006). Interactive Demonstrations for Mole Ratios and Limiting Reagents. *Journal of Chemical Education*.