

Ugotavljanje razumevanja agregatnih stanj vode in procesa zmrzovanja vode na submikroskopski ravni po vertikali izobraževanja z uporabo očesnega sledilca

Identification of Understanding of States of Water at Submicroscopic Level across Education Vertical via Eye Tracking

Miha Slapničar, Valerija Tompa, Manja Veldin in Saša A. Glažar

*Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta
miha.slapnicar@pef.uni-lj.si*

Povzetek

Submikroskopske predstavitve so na vseh ravneh izobraževanja pomembne pri ugotavljanju razumevanja kemijskih pojmov na ravni delcev. Namen raziskave je bil ugotoviti razumevanje agregatnih stanj vode in procesa zmrzovanja vode na submikroskopski ravni po vertikali izobraževanja. V vzorec kvantitativne raziskave je bilo vključenih 31 učencev 7. razreda osnovne šole, 29 dijakov 1. letnika gimnazije in 20 študentov smeri kemija na Pedagoški fakulteti Univerze v Ljubljani. Merski inštrument raziskave je predstavljal preizkus znanja s štirimi avtentičnimi problemskimi nalogami, v katere so bile vključene animacije gibanja delcev. Preizkus znanja je bil predvajan na računalniškem zaslonu kot zaslonske slike. Pri individualnem reševanju nalog so bili očesni premiki spremljani z očesnim sledilcem, pridobljeni odgovori pa sproti zapisovani.

Rezultati raziskave kažejo, da uspešnost pri zapisovanju pravilnih utemeljitev izbire submikroskopske predstavitve narašča po vertikali izobraževanja le pri trdnem agregatnem stanju vode (učenci 9,7 %; dijaki 13,8 %; študenti 55,0 %). Pogostost napačnih razumevanj gibanja delcev vode v trdnem agregatnem stanju pada po vertikali izobraževanja (učenci 51,5 %; dijaki 41,4 %; študenti 15,0 %). Napačna razumevanja gibanja delcev v tekočem (učenci 25,9 %; dijaki 30,9 %) in plinastem agregatnem stanju vode so prisotna samo pri učencih in dijakih (učenci 6,4 %; dijaki 6,8 %). Napačna razumevanja lastnosti gibanja delcev v trdnem agregatnem stanju pri nalogi zmrzovanja vode se po vertikali izobraževanja povečujejo (9,6 % učencev; 10,3 % dijakov; 15,0 % študentov).

Glede na rezultate raziskave bi bilo potrebno v osnovnih in srednjih šolah razvijati razumevanje 3-D animiranih submikroskopskih predstavitev agregatnih stanj vode in prehodov med njimi.

Ključne besede: agregatna stanja vode, očesni sledilec, submikroskopska raven, vertikala izobraževanja, zmrzovanje vode.

Abstract

Submicroscopic representations are important at all educational levels for establishing the students' understanding of chemical concepts at the particulate level. The research aim was to establish the understanding of the states of water and of the process of water freezing at the submicroscopic level across the education vertical. The quantitative research sample was composed of 31 seventh graders of elementary school, 29 students of the first year of gymnasium and 20 students of the Chemistry Study Course at the Faculty of Education of the University of Ljubljana. The measurement instrument of the research was a knowledge test with four authentic problem tasks, which included animations of particle movements. The knowledge test was displayed on the computer screen as screen images. In individual task solving, eye movements were monitored by an eye tracker, and the responses were simultaneously recorded.

The research results show the increase in successful noting of the correct justifications for the choice of a submicroscopic representation across the education vertical only in the case of a solid state of water (primary students 9,7 %, secondary students 13,8 %, and faculty students 55,0 %). The

frequency of incorrect understanding of the movement of water particles in the solid state decreased across the education vertical (primary students 51,5 %, secondary students 41,4 %, and faculty students 15,0 %). The misunderstanding of the motion of particles in the liquid (primary students 25,9 %; secondary students 30,9 %) and in the gaseous state of water was present only in primary students and in secondary students (primary students 6,4 %; secondary students 6,8 %). The misunderstanding of the properties of particle movements in the solid state in the task of water freezing increased across the education vertical (9,6 % of primary students, 10,3 % of secondary students, 15,0 % of faculty students).

According to the research results, the understanding of 3-D dynamic submicrorepresentations of states of water and its changes of state should be developed in primary and secondary schools.

Key words: education vertical, eye tracking, states of water, submicroscopic level, water freezing.

1. Uvod

Večina kemijskih pojmov je kompleksnih za učenje in poučevanje, saj jih je mogoče predstaviti na treh različnih ravneh (makroskopski, submikroskopski in simbolni ravni). Pri poučevanju posamezne ravni njihove predstavitve si lahko učitelji pomagajo z različnimi vizualizacijskimi sredstvi (Devetak, 2012). Na makroskopski ravni lahko uporabijo slike, fotografije in eksperimente, na ravni delcev 2-D in 3-D stacionarne oziroma dinamične submikroreprezentacije, na simbolni ravni pa različne simbole (matematične formule, kemijske formule, enačbe, diagrame ipd.) (Trumbo, 1999; Wu, Krajcik in Soloway, 2001). S pomočjo različnih vizualizacijskih sredstev je mogoče oblikovati ustrezno razumevanje kemijskega pojma (ustrezni mentalni model) oziroma ustrezne povezave med vsemi tremi ravnmi njegove predstavitve. Mentalni model je opredeljen kot miselna predstavitev posameznika, ki se oblikuje v okviru kognitivne dejavnosti med interakcijo z objektom (Devetak, 2012).

Pri uporabi vizualizacijskih sredstev je pomembno razvijanje reprezentacijskih kompetenc, saj imajo lahko učeči težave že pri samem prepoznavanju temeljnih značilnosti predstavitev in posledično tudi pri reševanju problemov (Rapp in Kurby, 2008). Uporaba vizualizacijskih sredstev vpliva na razvijanje sposobnosti za uspešno reševanje naravoslovnih problemov (Çelik, 2010; Erim in Yöndem, 2009). Proces posameznikovega reševanja problemov lahko predstavimo s pomočjo očesnega sledilca, saj so kognitivni procesi tesno povezani z očesnimi premiki (Havanki in VandenPlas, 2014; Rayner, 2009). Očesni sledilec je mogoče uporabiti tudi za ugotavljanje posameznikovega pristopa k reševanju naloge izbirnega tipa. Znano je, da uspešnejši učenci praviloma več časa namenijo izbiranju pravilnega odgovora kot določanju neustreznih odgovorov, medtem ko je pri neuspešnih učencih ravno obratno (Tsai, Hou, Lai, Liu in Yang, 2011). S podatki, ki jih pridobimo z očesnim sledilcem, lahko določimo področja, na katera je testiranec usmeril pogled (področja fiksacij), gostoto fiksacij (območje najmanjšega in največjega interesa) ter število fiksacij in povprečno vsoto skupnega trajanja fiksacij (Liversedge in Findlay, 2000).

Raziskave (Adadan in Savasci, 2011; de Berg, 2012; Kern, Wood, Roehrig in Nyachwaya, 2010) kažejo, da imajo učenci, dijaki in študenti težave pri opisovanju pojava na makroskopski ravni in njegovo razlago na ravni delcev. Özalp in Kahveci (2015) sta ugotovila, da se po vertikali izobraževanja izboljšuje znanje o delčni naravi snovi, Pereira in Pestana (1991) pa, da se izboljšuje znanje o agregatnih stanjih snovi na submikroskopski ravni. Z animiranimi submikroskopskimi predstavitevami pojmov je mogoče vplivati na izboljšanje razumevanja delčne narave snovi (Olahanmi, 2015).

Učenci, dijaki in študenti delcem najbolj pogosto pripisujejo makroskopske lastnosti snovi (npr. pri zmrzovanju vode se strdijo oziroma zmrznejo tudi molekule vode; molekule vode so trdne oziroma tekoče) (Chiu, Chiu in Ho, 2002; Özalp in Kahveci, 2015; Slapničar, Devetak, Glažar in Pavlin, 2017; Tsitsipis, Stamovlasis in Papageorgiou, 2010; Tsitsipis, Stamovlasis in Papageorgiou, 2011).

Glede na rezultate raziskav imajo učenci težave pri razumevanju delčnih predstavitev agregatnih stanj snovi (Devetak, Vogrinc in Glažar, 2009; Kind, 2004) in prehodov med njimi (Bahor, 2016; Tompa, 2016). Učenci, stari od 12 do 13 let, imajo težave pri razumevanju razporeditve delcev v plinastem in trdnem agregatnem stanju snovi in pri razumevanju gibanja delcev snovi v vseh treh agregatnih stanjih (Boz, 2006). Poleg tega učenci menijo, da med delci v plinastem agregatnem stanju ni praznega prostora, temveč zrak (Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer in Blakeslee, 1993). Rezultati raziskave (Tsitsipis idr., 2011) kažejo, da imajo dijaki, stari 14 in 15 let, razvita napačna razumevanja gibanja delcev v trdni snovi (delci v trdni snovi se ne premikajo). Chiu idr. (2002) so ugotovili, da 16-letniki dosegajo najboljši uspeh pri nalogah, ki se navezujejo na plinasto agregatno stanje snovi na delčni ravni. Devetak (2005) je prišel do podobne ugotovitve, saj so bili dijaki najuspešnejši (65,2 %) pri risanju submikroskopske predstavitve plinastega agregatnega stanja vode. M. Bahor (2016) je ugotovila, da je več kot 89,9 % učencev 7. razreda uspešnih pri izbiri submikroskopskih predstavitev agregatnih stanj vode.

1.1 Raziskovalni problem

Na podlagi rezultatov raziskav, opisanih v teoretičnem delu, je bil oblikovan raziskovalni problem, ki se navezuje na to, kako učenci 7. razreda osnovne šole, dijaki 1. letnika gimnazije in študenti Dvopredmetnega študija in Predmetnega poučevanja kemije z vezavami na Pedagoški fakulteti Univerze v Ljubljani (v nadaljevanju študenti UL PEF) razumejo kemijske pojme (agregatna stanja vode in zmrzovanje vode) na submikroskopski ravni predstavitve ter na kakšen način rešujejo nalogo izbirnega tipa, vezano na proces zmrzovanja vode. Spremljanje načina reševanja se nanaša na povprečni skupni čas trajanja fiksacij pri uspešnih in neuspešnih učencih, dijakih in študentih med reševanjem naloge izbirnega tipa.

1.2 Namen raziskave

Namen raziskave je bil ugotoviti, ali se po vertikali izobraževanja izboljšuje razumevanje kemijskih pojmov agregatna stanja vode in zmrzovanje vode na submikroskopski ravni predstavitve.

1.3 Raziskovalna vprašanja

V raziskavi sta bili zastavljeni dve raziskovalni vprašanji:

1. raziskovalno vprašanje: Ali imajo učenci 7. razreda osnovne šole, dijaki 1. letnika gimnazije in študenti UL PEF razvita napačna razumevanja agregatnih stanj vode in procesa zmrzovanja vode na submikroskopski ravni predstavitve, in če jih imajo, kakšna so?

2. raziskovalno vprašanje: Kolikšen je povprečni skupni čas trajanja fiksacij (uspešnih in neuspešnih učencev 7. razreda osnovne šole, dijakov 1. letnika gimnazije in študentov UL PEF pri izbiri submikroskopske predstavitve) na področje posamezne 3-D animirane submikroskopske predstavitve procesa zmrzovanja vode?

2. Metoda

V kvantitativni raziskavi je bila uporabljena deskriptivna metoda raziskovanja.

2.1 Vzorec raziskave

Vzorec raziskave je bil neslučajnostni in namenski, saj so bili udeleženci raziskave izbrani glede na različno stopnjo predznanja (s področja agregatnih stanj vode in prehodov med njimi), ugotovljenega s preizkusom predznanja. V raziskavi je sodelovalo: 31 učencev 7. razreda osnovne šole (19 učencev in 12 učenk povprečne starosti 12,2 let, SD = 2,4 meseca) in 29 dijakov 1. letnika gimnazije (povprečna starost 15,6 let, SD = 8,4 meseca) iz osrednjeslovenske regije ter 20 študentov študijskih programov 1. stopnje Dvopredmetni učitelj in 2. stopnje Predmetno poučevanje, smer kemija z vezavami na Pedagoški fakulteti Univerze v Ljubljani (18 študentk in 2 študenta povprečne starosti 23,2 let, SD = 12,0 mesecev). Zagotovljena je bila anonimnost sodelujočih v raziskavi. V raziskavo je bila vključena mešana urbana populacija.

2.2 Merska inštrumenta raziskave

V raziskavi je bil kot merski inštrument uporabljen preizkus predznanja iz 6 avtentično zasnovanih nalog, vezanih na agregatna stanja vode in prehode med njimi (taljenje, zmrzovanje, izparevanje in sublimacija). Drugi merski inštrument raziskave je predstavljal preizkus znanja, ki so ga oblikovali trije visokošolski učitelji v oktobru leta 2014. Naloge v preizkusu znanja je pred pričetkom raziskave evalviralo 6 učiteljev (4 osnovnošolski učitelji kemije, fizike oziroma biologije in 2 učitelja kemije na srednji šoli). Evalvacija je potekala novembra leta 2015 na Pedagoški fakulteti Univerze v Ljubljani. Komentarji, ki so jih učitelji podali med ogledom zaslonskih slik problemskih nalog, so bili posneti z avdio-sredstvom ter transkribirani. Po ogledu zaslonskih slik nalog so učitelji rešili še anketni vprašalnik, ki se je nanašal na: (1) razumljivost navodil in vprašanj pri obeh nalogah; (2) težavnost in zanimivost nalog ter na (3) ločevanje med učenci z boljšim in slabšim znanjem naravoslovja. Naloge so bile nato glede na mnenja učiteljev ustrezno dopolnjene oziroma spremenjene. Preizkus znanja je vsebinsko veljaven, ker preverja operativne učne cilje, navedene v učnih načrtih za naravoslovje v 7. razredu osnovne šole in kemijo v 1. letniku gimnazije. Poleg tega je tudi ekonomičen, saj vsebuje naloge izbirnega tipa in naloge s kratkimi odgovori, ki jih je mogoče hitro ovrednotiti.

Preizkus znanja je sestavljen je iz 4 avtentičnih problemskih nalog. Prve tri naloge so sestavljene iz šestih delov. Za raziskavo so bili izbrani samo tisti deli nalog, ki se nanašajo na razumevanje agregatnih stanj vode (1.5, 2.5, 3.5, 1.6, 2.6, 3.6) in procesa zmrzovanja vode (4. naloga) na submikroskopski ravni predstavitve (3-D animirane submikroskopske predstavitve). Preostale naloge (1.1, 2.1, 3.1, 1.2, 2.2, 3.2, 1.4, 2.4 in 3.4) se nanašajo na razumevanje (1) agregatnih stanj vode na makroskopski ravni oziroma (2) delčne zgradbe vode (1.3, 2.3 in 3.3).

2.3 Potek raziskave

Pred pričetkom raziskave je bilo potrebno pridobiti pisna soglasja staršev učencev in dijakov; študentov; učiteljev in učiteljice naravoslovja in kemije ter vodstva osnovne šole in gimnazije.

Meseca oktobra leta 2016 je 55 učencev 7. razreda osnovne šole, 54 dijakov 1. letnika gimnazije in 45 študentov UL PEF reševalo preizkuse predznanja. Po ovrednotenju je bil glede na dosežke na preizkusu predznanja ($M_{učenci} = 2,2$, $SD = 0,5$; $M_{dijaki} = 2,8$, $SD = 1,1$; $M_{študenti} = 3,9$, $SD = 0,8$) oblikovan vzorec učencev, dijakov in študentov.

Od meseca novembra 2016 do meseca marca 2017 je potekalo individualno testiranje udeležencev z očesnim sledilcem v laboratoriju Oddelka za psihologijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. Po kalibraciji očesnega sledilca (EyeLink 1000) so udeleženci reševali preizkus znanja med predvajanjem zaslonских slik nalog na računalniškem zaslonu. Pri tem so bili ves čas spremljani očesni premiki.

Vsi udeleženci so bili deležni enakih pogojev testiranja (enak protokol navodil in principa reševanja avtentičnih nalog, mirno in sproščeno okolje, časovna omejitev reševanja na 15 minut). Med reševanjem nalog je testator sproti zapisoval odgovore učencev, dijakov in študentov. Odgovori so bili nato transkribirani, ovrednoteni (z 1 točko pravi odgovor, z 0 točkami napačen odgovor) in kodirani zaradi lažje obdelave podatkov. Pri statistični obdelavi podatkov so bile uporabljene programske opreme Microsoft Excel 2010, IBM SPSS Statistics in Data Viewer. Določeni so bili povprečni skupni časi trajanja fiksacij za uspešne in neuspešne učence 7. razreda osnovne šole, dijake 1. letnika gimnazije in študente UL PEF pri izbiri submikroskopske predstavitve procesa zmrzovanja vode. Določene so bile tudi absolutne/relativne frekvence pravih oziroma napačnih odgovorov ter napačnih razumevanj učencev, dijakov in študentov. Pri analizi napačnih razumevanj so bile iz transkribiranih odgovorov določene kode, iz katerih so bile oblikovane kategorije. Vsi obdelani podatki so predstavljeni tabelarično oziroma grafično in ustrezno interpretirani.


3. Rezultati z diskusijo

Predstavljeni so rezultati pri nalogah v preizkusu znanja, ki se nanašajo na razumevanje agregatnih stanj vode (naloge 1.5, 2.5, 3.5, 1.6, 2.6 in 3.6) in procesa zmrzovanja vode (4. naloga).

3.1 Naloge agregatnih stanj vode - 1.5, 2.5 in 3.5

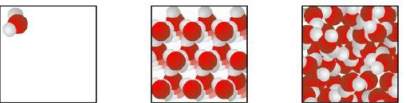
Naloge 1.5, 2.5 in 3.5 (slika 1) preverjajo razumevanje agregatnih stanj vode na submikroskopski ravni, na kateri so agregatna stanja vode predstavljena s 3-D animiranimi submikroskopskimi predstavitevami.

1.5 Katera predstavitev od 1 do 3 ponazarja trdno agregatno stanje?



1 2 3

2.5 Katera predstavitev od 1 do 3 ponazarja tekoče agregatno stanje?



1 2 3



Slika 1: Naloge agregatnih stanj vode - 1.5, 2.5 in 3.5

Pravilni odgovori pri nalogah 1.5, 2.5 in 3.5:

Naloga 1.5 - submikroskopska predstavitev 1.

Naloga 2.5 - submikroskopska predstavitev 3.

Naloga 3.5 - submikroskopska predstavitev 2.

V tabeli 1 so podane relativne frekvence pravih odgovorov učencev 7. razreda osnovne šole, dijakov 1. letnika gimnazije in študentov UL PEF pri nalogah 1.5, 2.5 in 3.5.

Tabela 1: Pregled vrednosti relativnih frekvenc pravih odgovorov pri nalogah 1.5, 2.5 in 3.5

Skupina	Trdno agr. st. vode (f %)	Tekoče agr. st. vode (f %)	Plinasto agr. st. vode (f %)
Učenci 7. razreda	96,8	93,5	96,8
Dijaki 1. letnika	100,0	100,0	100,0
Študenti UL PEF	100,0	100,0	100,0

Iz tabele 1 je mogoče razbrati, da so vsi dijaki 1. letnika in študenti UL PEF izbrali ustrezne 3-D animirane submikroskopske predstavitve za vsa tri agregatna stanja vode. 96,8 % učencev 7. razreda osnovne šole je izbralo ustrezno submikroskopsko predstavitev za trdno oziroma plinasto agregatno stanje vode. Pri izbiri submikroskopske predstavitve tekočega agregatnega stanja vode pa so bili učenci nekoliko manj uspešni (93,5 %).

Iz rezultatov je mogoče sklepati, da dijaki in študenti nimajo težav pri prepoznavanju 3-D animiranih submikroskopskih predstavitev posameznih agregatnih stanj vode, pri učencih pa so tovrstne težave zelo redke.

3.2 Naloge agregatnih stanj vode - 1.6, 2.6 in 3.6

Naloge 1.6, 2.6 in 3.6 se navezujejo na razumevanje 3-D animiranih submikroskopskih predstavitev agregatnih stanj vode. Pri navedenih nalogah je bilo potrebno vsaj z dvema razlogoma utemeljiti izbiro submikroskopske predstavitve pri nalogi 1.5, 2.5 oziroma 3.5.

V tabeli 2 so predstavljeni predvideni pravilni odgovori pri nalogah 1.6, 2.6 in 3.6. Odgovori so bili ovrednoteni kot pravilni, če so bile v njih navedene lastnosti, značilne za gibanje in razporeditev delcev v posameznem agregatnem stanju vode.

Tabela 2: Predvideni pravilni odgovori pri nalogah 1.6, 2.6 in 3.6

Lastnosti	Trdno agr. st. vode (naloga 1.6)	Tekoče agr. st. vode (naloga 2.6)	Plinasto agr. st. vode (naloga 3.6)
gibanje delcev	Delci vibrirajo; se tresejo; nihajo; se zelo malo premikajo po prostoru.	Delci se gibljejo počasi/hitreje kot v trdnem agregatnem stanju vode.	Delci se zelo hitro premikajo. Delci se prosto gibljejo po prostoru.
razporeditev delcev	Delci so med seboj povezani v urejeno strukturo. Delci so skupaj oziroma med delci je malo prostora.	Razdalje med delci so manjše oz. delci so bolj skupaj kot v trdnem agregatnem stanju vode. Delci niso razporejeni urejeno tako kot v trdnem agregatnem stanju vode.	Delci so med seboj zelo oddaljeni. Delci so najmanj urejeno razporejeni.

V tabeli 3 so podane absolutne in relativne frekvence pravih odgovorov učencev 7. razreda osnovne šole, dijakov 1. letnika gimnazije in študentov UL PEF pri nalogah 1.6, 2.6 in 3.6.

Tabela 3: Pregled vrednosti absolutnih in relativnih frekvenc pravih odgovorov pri nalogah 1.6, 2.6 in 3.6

Skupina	Trdno agregatno stanje vode		Tekoče agregatno stanje vode		Plinasto agregatno stanje vode	
	Pravilni odgovori (f)	Pravilni odgovori (f %)	Pravilni odgovori (f)	Pravilni odgovori (f %)	Pravilni odgovori (f)	Pravilni odgovori (f %)
Učenci 7. razreda	3	9,7	6	19,4	4	12,9
Dijaki 1. letnika	4	13,8	0	0	2	6,9
Študenti UL PEF	11	55,0	10	50,0	8	40,0

Iz tabele 3 je razvidno, da so učenci 7. razreda najbolj uspešni (19,4 %) pri utemeljevanju izbire 3-D animirane submikroskopske predstavitve tekočega agregatnega stanja vode. Pri utemeljevanju izbire delčne predstavitve za plinasto (12,9 %) oziroma trdno agregatno stanje vode (9,7 %) so bili ti nekoliko manj uspešni.

Dijaki 1. letnika so bili najmanj uspešni pri zapisovanju ustreznih utemeljitev izbire submikroskopske predstavitve za tekoče agregatno stanje vode, saj so vsi odgovorili napačno. V utemeljitvah so navajali neustrezne lastnosti gibanja in razporeditve delcev (npr. delci se gibljejo prosto; več delcev je skupaj).

6,9 % dijakov 1. letnika je zapisalo ustrezne utemeljitve izbire delčne predstavitve plinastega agregatnega stanja vode. Nekoliko več dijakov (13,8 %) je bilo uspešnih pri utemeljevanju izbire submikroskopske predstavitve trdnega agregatnega stanja vode.


Študenti UL PEF so zapisali največ ustreznih utemeljitev za trdno agregatno stanje vode (55,0 %). Nekoliko manj so bili uspešni pri utemeljevanju izbire submikroskopske predstavitve tekočega (50,0 %) in plinastega agregatnega stanja vode (40,0 %).

Rezultati kažejo, da uspešnost pri zapisovanju utemeljitev izbire submikroskopske predstavitve trdnega agregatnega stanja narašča po vertikali izobraževanja (učenci - 9,7 %; dijaki - 13,8 %; študenti - 55,0 %). Razumevanje tekočega in plinastega agregatnega stanja je najslabše pri dijakih (tekoče - 0,0 %, plinasto - 6,9 %), najboljše pa pri študentih (tekoče - 50,0 %, plinasto - 40,0 %).

3.3 Nalogi zmrzovanja vode - 4.1 in 4.2

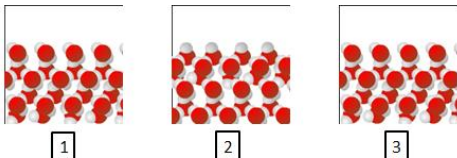
Nalogi 4.1 in 4.2 (slika 2) preverjata razumevanje procesa zmrzovanja vode na submikroskopski ravni. Ta fazni prehod je ponazorjen na prvi 3-D animirani submikroskopski predstavitvi, na kateri je v zgornjem delu prikazana porazdelitev molekul vode v vodnih hlapih. Na srednjem delu predstavitve se voda nahaja v trdnem, na spodnjem delu pa v tekočem agregatnem stanju. Na tej predstavitvi se molekule vode v trdnem agregatnem stanju zelo malo premikajo oziroma nihajo/vibrirajo, medtem ko so na tretji predstavitvi popolnoma pri miru. Druga predstavitev je neustrezna, saj sta na sredini prikazana razporeditev in gibanje delcev, značilna za tekoče, v spodnjem delu pa za trdno agregatno stanje.

Blejsko jezero pozimi zamrzne.



Zamrzlo Blejsko jezero

4.1 Dobro si oglej predstavitve gibanja delcev. Katera predstavitev ponazarja stanje, ko je jezero zamrznilo?
4.2 Pojasni, zakaj si izbral to predstavitev.



Slika 2: Nalogi zmrzovanja vode - 4.1 in 4.2

Pravilen odgovor pri nalogi 4.1:
Prva submikroskopska predstavitev.

Predvideni pravilni odgovori pri nalogi 4.2:

- (1) Na zgornjem delu submikroskopske predstavitve je voda v plinastem agregatnem stanju (vodni hlapi/vodna para). Na sredini se voda nahaja v trdnem, spodaj pa v tekočem agregatnem stanju.
- (2) Na sredini se voda nahaja v trdnem, spodaj pa v tekočem agregatnem stanju.
- (3) Ker na tej predstavitvi molekule (delci) v trdnem agregatnem stanju nihajo/vibrirajo.

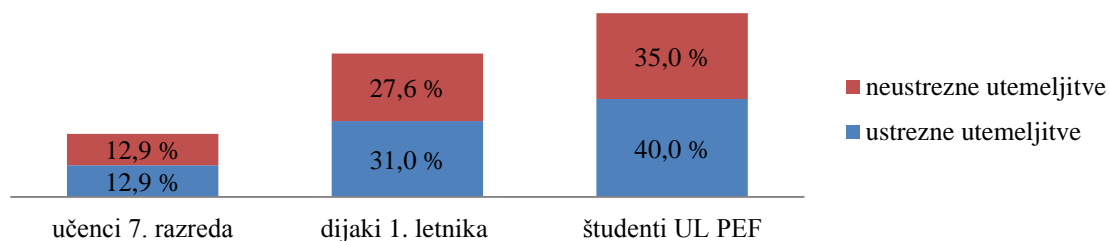
V tabeli 4 so podane absolutne in relativne frekvence pravih in napačnih odgovorov učencev 7. razreda osnovne šole, dijakov 1. letnika gimnazije in študentov UL PEF pri nalogi 4.1.

Tabela 4: Pregled vrednosti absolutnih in relativnih frekvenc pravih in napačnih odgovorov učencev, dijakov in študentov pri nalogi 4.1

Skupina	Pravilni odgovori (f)	Pravilni odgovori (f %)	Napačni odgovori (f)	Napačni odgovori (f %)
Učenci 7. razreda	8	25,8	23	74,2
Dijaki 1. letnika	17	58,6	12	41,4
Študenti UL PEF	15	75,0	5	25,0

Iz tabele 4 je razvidno, da se po vertikali izobraževanja izrazito povečujejo relativne frekvence pravih odgovorov pri nalogi 4.1 (učenci - 25,8 %; dijaki - 58,6 %, študenti - 75,0 %).

Na grafu 1 so prikazane relativne frekvence ustrezno in neustrezno podanih utemeljitev izbire submikroskopske predstavitve procesa zmrzovanja vode, ki so jih učenci, dijaki in študenti (ki so pri nalogi 4.1 izbrali ustrezno submikroskopsko predstavitev) podali pri nalogi 4.2.



Graf 1: Primerjava učencev 7. razreda, dijakov 1. letnika in študentov UL PEF glede ustreznosti utemeljitev izbire 3-D animirane submikroskopske predstavitve procesa zmrzovanja vode

Iz grafa 1 je razvidno, da je večji odstotek dijakov 1. letnika in študentov UL PEF podal ustrezne (dijaki 31,0 %; študenti 40,0 %) kot neustrezne (dijaki 27,6 %; študenti 35,0 %) utemeljitve izbire 3-D animirane submikroskopske predstavitve procesa zmrzovanja vode. Enak odstotek učencev (12,9 %) je podal ustrezne oziroma neustrezne utemeljitve izbire delčne predstavitve.

Iz rezultatov je mogoče sklepati, da se po vertikali izobraževanja povečujejo odstotki ustrezno podanih utemeljitev.

Rezultati te raziskave kažejo, da se razumevanje delčne narave snovi (3-D animiranih submikroskopskih predstavitev trdnega agregatnega stanja vode in procesa zmrzovanja vode) izboljšuje po vertikali izobraževanja, kar potrjujejo tudi rezultati raziskave (Özalp in Kahveci, 2015).

Ugotovitve kažejo, da imajo učenci težave pri razumevanju delčnih predstavitev agregatnih stanj vode in prehodov med njimi, kar je podobno rezultatom drugih raziskav (Bahor, 2016; Devetak idr., 2009; Kind, 2004; Tompa, 2016). Raziskava je pokazala, da dijaki najbolj razumejo trdno agregatno stanje vode, kar ni skladno z rezultati raziskav (Chiu idr., 2002; Devetak, 2005), ki sta potrdili, da dijaki najbolj razumejo plinasto agregatno stanje vode na ravni delcev. Učenci bolje razumejo tekoče in plinasto agregatno stanje vode na ravni delcev kot dijaki, kar ni v skladu z rezultati raziskave (Pereira in Pestana, 1991).

3.4 Interpretacija raziskovalnih vprašanj

Na osnovi rezultatov raziskave je mogoče odgovoriti na zastavljena raziskovalna vprašanja.

1. raziskovalno vprašanje: Ali imajo učenci 7. razreda osnovne šole, dijaki 1. letnika gimnazije in študenti UL PEF razvita napačna razumevanja agregatnih stanj vode in procesa zmrzovanja vode na submikroskopski ravni predstavitve, in če jih imajo, kakšna so?

Učenci 7. razreda osnovne šole, dijaki 1. letnika gimnazije in študenti UL PEF imajo razvita napačna razumevanja agregatnih stanj vode in procesa zmrzovanja vode, ki so predstavljena v tabelah 5, 6, 7 in 8.

Tabela 5: Pregled vrednosti relativnih frekvenc kod napačnih razumevanj trdnega agregatnega stanja vode

Kode napačnih razumevanj	U (f %)	D (f %)	Š (f %)
1. Delci/gradniki/molekule se ne premikajo.	29,0	27,6	5,0
2. Delci/molekule se premikajo okoli svoje osi.	12,9	6,9	5,0
3. Atomi se ne premikajo oziroma se ne premikajo preveč.	3,2	6,9	/
4. Delci se ne premikajo zato, ker so tesno skupaj oziroma ker nimajo dovolj prostora.	3,2	/	5,0
5. Delci se premikajo hitro.	3,2	/	/
6. Trdna snov (led) se ne premika; delci se ne gibljejo prav tako kot ledenik.	6,5	3,4	/
7. Delci so trdno skupaj; delci so strjeni; molekule so bolj trde, struktura molekul je trdna.	3,2	13,8	5,0
8. Molekule so gosto skupaj/najbolj gosto skupaj oziroma so zelo natlačene.	3,2	6,9	/
9. Število atomov oziroma delcev v trdnem stanju je večje.	6,5	/	/
10. V trdnem stanju med molekulami ni toliko interakcij.	/	/	5,0

* Legenda: U - učenci 7. razreda OŠ; D - dijaki 1. letnika; Š - študenti UL PEF

Iz tabele 5 je mogoče razbrati, da je največ napačnih razumevanj povezanih z lastnostmi gibanja delcev (atomov, molekul) v trdnem agregatnem stanju (1.-5. koda). Pri učencih 7. razreda in dijakih 1. letnika je prisotnost tovrstnih napačnih razumevanj zelo pogosta (učenci 51,5 %; dijaki 41,4 %), medtem ko je pri študentih UL PEF zelo redka (15,0 %).

Napačna razumevanja, vezana na: (1) pripisovanje lastnosti gibanja delcev trdni snovi - koda 6 (učenci 6,5 %; dijaki 3,4 %); (2) pripisovanje makroskopskih lastnosti trdne snovi delcem - koda 7 (učenci 3,2 %; dijaki 13,8 %; študenti 5,0 %); (3) razporeditev delcev v trdnem agregatnem stanju - koda 8 (učenci 3,2 %; dijaki 6,9 %); (4) število delcev v trdnem stanju - koda 9 (učenci 6,5 %); oziroma (5) medmolekulske vezi med molekulami vode v trdnem agregatnem stanju - koda 10 (študenti 5,0 %) se pojavljajo zelo redko.

Tabela6: Pregled vrednosti relativnih frekvenc kod napačnih razumevanj tekočega agregatnega stanja vode

Kode napačnih razumevanj	U (f %)	D (f %)	Š (f %)
1. Delci/molekule se gibajo prosto.	9,7	24,1	/
2. Atomi se premikajo; atomi se gibljejo srednje hitro; atomi se premikajo bolj kot v trdnem.	9,7	3,4	/
3. Molekule se ne gibajo okoli svoje osi.	/	3,4	/
4. Delci se zelo hitro premikajo.	6,5	/	/
5. Voda se premika; voda in molekule se premikajo; delci se premikajo kot voda.	16,1	/	/
6. Delci niso trdno skupaj; delci ohranjajo oziroma zavzemajo obliko; delci zavzemajo obliko posode/prostora oziroma zapolnijo dno posode; struktura ni več trdna.	3,2	27,6	5,0

7. Vmesna oziroma zadostna gostota delcev; delci so manj gosto postavljeni kot v trdnem.	3,2	3,4	5,0
8. Atomi so zgoščeni.	3,2	/	/
9. Delcev je veliko oziroma dovolj veliko.	9,7	6,9	/
10. Delcev je manj.	3,2	/	/
11. Atomov je srednje veliko.	3,2	/	/
12. Med delci je zrak.	3,2	/	/

* Legenda: U - učenci 7. razreda; D - dijaki 1. letnika; Š - študenti UL PEF

Prve štiri kode napačnih razumevanj so vezane na lastnosti gibanja delcev (atomov, molekul) v tekočem agregatnem stanju vode. Tovrstna napačna razumevanja so prisotna pri 25,9 % učencev 7. razreda osnovne šole in 30,9 % dijakov 1. letnika gimnazije.

16,1 % učencev ima razvita napačna razumevanja števila delcev (atomov) v tekočem stanju (kode 9-11) oziroma pripisovanja lastnosti gibanja delcev tekoči snovi (koda 5).

Napačna razumevanja, vezana na: (1) pripisovanje makroskopskih lastnosti snovi delcem - koda 6 (učenci 3,2 %, študenti 5,0 %); (2) razporeditev delcev (atomov) v tekočem stanju - kodi 7 in 8 (učenci 6,5 %, dijaki 3,4 %, študenti 5,0 %) oziroma (3) prisotnost zraka med delci - koda 12 (učenci 3,2 %) so zelo redka. Izjemo predstavljajo napačna razumevanja pripisovanja makroskopskih lastnosti delcem snovi, ki se pojavljajo pri slabi tretjini dijakov (27,6 %).

Tabela7: Pregled vrednosti relativnih frekvenc kod napačnih razumevanj plinastega agregatnega stanja vode

Kode napačnih razumevanj	U (f %)	D (f %)	Š (f %)
1. Delci se premikajo počasneje kot v tekočem stanju.	3,2	/	/
2. Delci se ne premikajo po prostoru.	3,2	/	/
3. Molekule se ne gibljejo okoli svoje osi.	/	3,4	/
4. Atomi se prosto gibljejo.	/	3,4	/
5. Plin prosto potuje; plin se premika po celem prostoru; plin se hitreje premika; para se enakomerno porazdeli po prostoru; prosta gibljivost delcev je podobna pari, ki se izloči v zrak.	19,4	3,4	/
6. Samo nekaj delcev se premika; delcev je (zelo) malo; delcev je najmanj; molekul je malo; število molekul je veliko manjše kot v ostalih dveh stanjih; delcev je malo glede na drugi dve stanji.	19,4	13,8	5,0
7. Atomov je manj.	3,2	/	/
8. Delci imajo zelo majhno gostoto.	9,7	10,3	5,0
9. Atomi so zelo redki.	3,2	/	/
10. Med atomi je veliko prostora.	/	3,4	/
11. Delci so skupaj.	3,2	/	/
12. Delci zavzamejo obliko celotnega prostora.	/	3,4	/
13. Delci niso trdno skupaj; delci nimajo trdnih vezi.	/	6,9	/

* Legenda: U - učenci 7. razreda; D - dijaki 1. letnika; Š - študenti UL PEF

Napačna razumevanja, vezana na razporeditev delcev (atomov) v plinastem stanju (kode 8-11) so nekoliko bolj zastopana pri učencih (16,1 %) in dijakih (13,7 %) kot pri študentih (5,0 %). Podobno je pri napačnih razumevanjih (kodi 6 in 7), ki se navezujejo na število delcev (atomov, molekul) (učenci 22,6 %, dijaki 13,8 % in študenti 5,0 %).

19,4 % učencev in 3,4 % dijakov plinasti snovi pripisuje lastnosti gibanja delcev (koda 5). 10,3 % dijakov delcem pripisuje makroskopske lastnosti snovi (kodi 12 in 13). 6,4 % učencev in 6,8 % dijakov ima razvita napačna razumevanja lastnosti gibanja delcev (atomov, molekul) v plinastem agregatnem stanju (kode 1-4).

Tabela 8: Pregled vrednosti relativnih frekvenc kod napačnih razumevanj procesa zmrzovanja vode

Kode napačnih razumevanj	U (f %)	D (f %)	Š (f %)
1. Ledena ploskev je pri miru.	3,2	/	/
2. Voda pod ledom se premika; voda se premika; spodnja plast se premika.	6,5	6,9	/
3. Trdna snov se malo premika.	/	3,4	/
4. Delci v trdnem se ne premikajo/tresejo.	3,2	6,9	15,0
5. Delci v trdnem se premikajo okoli svoje osi.	3,2	3,4	/
6. V trdnem stanju so atomi pri miru .	3,2	/	/
7. Plinaste molekule.	/	/	5,0
8. Zgoraj je zrak.	12,9	10,3	/

* Legenda: U - učenci 7. razreda; D - dijaki 1. letnika; Š - študenti UL PEF

Prve tri kode napačnih razumevanj zmrzovanja vode se navezujejo na pripisovanje lastnosti gibanja delcev snovi. Tovrstna napačna razumevanja se pojavljajo pri 9,7 % učencev 7. razreda in 10,3 % dijakov 1. letnika. 9,6 % učencev, 10,3 % dijakov in 15,0 % študentov ima razvita napačna razumevanja lastnosti gibanja delcev (atomov) v trdnem agregatnem stanju vode (4.-6. koda). 5,0 % študentov delcem pripisuje makroskopske lastnosti snovi (7. koda). 12,9 % učencev in 10,3 % dijakov meni, da je na zgornjem delu submikroskopske predstavitve zrak, kar pomeni, da ne razlikujejo med makroskopsko in submikroskopsko predstavitvijo snovi ter med snovjo (vodno paro/vodnimi hlapi) in zmesjo (zrakom).

Manjšina učencev 7. razreda (3,2 %), dijakov 1. letnika (13,8 %) in študentov UL PEF (5,0 %) delcem v trdnem agregatnem stanju pripisuje makroskopske lastnosti trdne snovi. Pri tekočem agregatnem stanju ima veliko dijakov (27,6 %) težave pri ločevanju med lastnostmi snovi in delcev, medtem ko pri učencih (3,2 %) in študentih (5,0 %) le manjšina. 10,3 % dijakov delcem v plinastem agregatnem stanju pripisuje makroskopske lastnosti snovi. Rezultati raziskave se skladajo z rezultati drugih raziskav (Chiu idr., 2002; Ōzalp in Kahveci, 2015; Slapničar idr., 2017; Tsitsipis idr., 2010; Tsitsipis idr., 2011), ki kažejo, da učenci, dijaki in študenti delcem pripisujejo makroskopske lastnosti snovi. Napačna razumevanja lastnosti gibanja delcev v trdnem (učenci 51,5 %; dijaki 41,4 %; študenti 15,0 %) in tekočem agregatnem stanju vode (25,9 % učencev; 30,9 % dijakov) so pogosta. V plinastem agregatnem stanju je takšnih napačnih razumevanj manj (6,4 % učencev in 6,8 % dijakov). Rezultati so podobni rezultatom raziskav (Boz, 2006; Tsitsipis idr., 2011), saj imajo učenci in dijaki težave pri razumevanju gibanja delcev v vseh treh agregatnih stanjih.

2. raziskovalno vprašanje: Kolikšen je povprečni skupni čas trajanja fiksacij (uspešnih in neuspešnih učencev 7. razreda osnovne šole, dijakov 1. letnika gimnazije in študentov UL PEF pri izbiri submikroskopske predstavitve) na področje posamezne 3-D animirane submikroskopske predstavitve procesa zmrzovanja vode?

V tabelah 9 in 10 so podani povprečni skupni časi trajanja fiksacij za uspešne in neuspešne učence 7. razreda, dijake 1. letnika in študente UL PEF pri reševanju naloge 4.1 ter standardni odkloni (SD).

Tabela 9: Povprečni skupni časi trajanja fiksacij za uspešne učence, dijake in študente pri nalogi 4.1

Submikro predstavitev	Povprečni skupni čas trajanja fiksacij za učence (s) / SD	Povprečni skupni čas trajanja fiksacij za dijake (s) / SD	Povprečni čas trajanja fiksacij za študente (s) / SD
1	26,82 / 12,71	21,87 / 10,21	32,37 / 20,87
2	10,88 / 9,78	8,23 / 4,80	7,35 / 2,30
3	13,46 / 8,80	9,96 / 6,84	18,01 / 9,29

Iz tabele 9 je mogoče razbrati, da so uspešni učenci 7. razreda, dijaki 1. letnika in študenti UL PEF v povprečju veliko dlje časa fiksirali svoj pogled na področje ustrezne submikroskopske predstavitve (učenci: $M = 26,82$ s; dijaki: $M = 21,87$ s; študenti: $M = 32,37$ s) kot neustreznih delčnih predstavitev (druge in tretje) (učenci: $M_2 = 10,88$ s, $M_3 = 13,46$ s; dijaki: $M_2 = 8,23$ s, $M_3 = 9,96$ s; študenti: $M_2 = 7,35$ s, $M_3 = 18,01$ s).

Tabela 10: Povprečni skupni časi trajanja fiksacij za neuspešne učence, dijake in študente pri nalogi 4.1

Submikro predstavitev	Povprečni skupni čas trajanja fiksacij za učence (s) / SD	Povprečni skupni čas trajanja fiksacij za dijake (s) / SD	Povprečni čas trajanja fiksacij za študente (s) / SD
1	9,07 / 5,52	10,76 / 6,33	18,48 / 17,13
2	10,02 / 7,20	10,89 / 10,50	13,92 / 11,32
3	19,10 / 13,17	13,01 / 7,10	17,61 / 12,94

Iz tabele 10 je razvidno, da so učenci in dijaki, ki so izbrali neustrezno 3-D animirano submikroskopsko predstavitev, v povprečju največ časa fiksirali pogled na področje tretje submikroskopske predstavitve (učenci: $M = 19,10$ s; dijaki: $M = 13,01$ s). Pri prvi oziroma drugi submikroskopski predstavitvi pa je bil povprečni čas trajanja fiksacij veliko manjši (učenci: $M_1 = 9,07$ s, $M_2 = 10,02$ s; dijaki: $M_1 = 10,76$ s, $M_2 = 10,89$ s).

Neuspešni študenti so v povprečju nekoliko dlje časa fiksirali svoj pogled na prvo ($M = 18,48$ s) kot tretjo submikroskopsko predstavitev ($M = 17,61$ s), ki so jo večinoma tudi vsi izbrali.

Uspešni učenci, dijaki in študenti so izbrali tisto submikroskopsko predstavitev, na katero so v povprečju najdlje časa fiksirali svoj pogled. Neuspešni učenci v povprečju več časa namenijo določanju neustreznih odgovorov kot določanju ustreznega odgovora. Ugotovitve se skladajo z rezultati raziskave (Tsai idr., 2011), ki pravi, da uspešni učenci namenijo več časa izbiri pravih kot nepravilnih odgovorov, medtem ko neuspešni ravno obratno.

4. Zaključek

Namen raziskave je bil ugotoviti, ali se po vertikali izobraževanja izboljšuje razumevanje agregatnih stanj vode in zmrzovanja vode na submikroskopski ravni. Ugotovitve raziskave kažejo, da se po vertikali izobraževanja povečujejo relativne frekvence pravilno podanih utemeljitev izbire submikroskopske predstavitve trdnega agregatnega stanja vode (učenci - 9,7 %, dijaki - 13,8 %, študenti - 55,0 %) in procesa zmrzovanja vode (učenci - 12,9 %, dijaki - 31,0 %, študenti - 40,0 %). Pri utemeljevanju izbire delčne predstavitve tekočega in plinastega agregatnega stanja vode so bili najmanj uspešni dijaki (tekoče - 0,0 %, plinasto - 6,9 %). Nekoliko bolj uspešni so bili učenci (tekoče - 19,4 %, plinasto - 12,9 %), veliko bolj uspešni pa študenti (tekoče - 50,0 %; plinasto - 40,0 %). Rezultati raziskave so pokazali tudi, da se pri učencih 7. razreda (51,5 %) in dijakih 1. letnika (41,4 %) pogosto pojavljajo napačna razumevanja, povezana z lastnostmi gibanja delcev v trdnem agregatnem stanju vode. Nekoliko manj pogosta pa so napačna razumevanja lastnosti gibanja delcev v tekočem agregatnem stanju vode (učenci - 25,9 %, dijaki - 30,9 %). Glede na navedene rezultate je mogoče sklepati, da je razumevanje 3-D animiranih submikroskopskih predstavitev najslabše pri učencih in dijakih.

Na podlagi ugotovljenih pogostih napačnih razumevanj 3-D animiranih submikroskopskih predstavitev agregatnih stanj vode in zmrzovanja vode je mogoče oblikovati priporočila učiteljem za njihovo odpravo oziroma preprečevanje: (1) pri predstavitvi trdnega agregatnega stanja je potrebno opozoriti na to, da delci nihajo oziroma vibrirajo in da niso pri

miru oziroma ne krožijo okoli svoje osi; (2) v tekočem agregatnem stanju se delci gibljejo omejeno in ne prosto ter (3) pri poučevanju kemijskih pojmov je potrebno nameniti posebno pozornost ustrezni predstavitvi kemijskega pojma na makroskopski in submikroskopski ravni (predvsem pri tekočem in plinastem agregatnem stanju zaradi nerazlikovanja lastnosti snovi in delcev). Glede na rezultate raziskave je mogoče skleniti, da bi bilo pri oblikovanju boljšega razumevanja 3-D animiranih submikroskopskih predstavitev agregatnih stanj vode in procesa zmrzovanja vode, smiselno razvijati njihovo razumevanje z razvijanjem reprezentacijskih kompetenc.

Iz rezultatov raziskave je razvidno, da je metoda očesnega sledilca primerna za ugotavljanje načina reševanja naloge izbirnega tipa pri skupinah uspešnih in neuspešnih posameznikov.

Za nadaljnje raziskovanje bi bilo smiselno vzorec raziskave povečati, saj bi na ta način lahko pridobili boljši vpogled v razumevanje agregatnih stanj vode in zmrzovanja vode. V avtentične problemske naloge bi bilo smiselno vključiti tudi ostale prehode med agregatnimi stanji vode.

5. Literatura

- Adadan, E. in Savasci, F. (2011). An Analysis of 16-17 year old Students' Understanding of Solution Chemistry Concepts Using a Two-tier Diagnostic Instrument. *International Journal of Science Education*, 34(4), 513-544.
- Bahor, M. (2016). *Razumevanje agregatnih stanj snovi pri učencih v sedmem razredu osnovne šole* (Diplomsko delo). Pedagoška fakulteta, Ljubljana.
- Boz, Y. (2006). Turkish Pupils' Conceptions of the Particulate Nature of Matter. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 203-213.
- Çelik, B. (2010). Use of Videotapes in Piano Education. *Journal of Gazi Educational Faculty*, 30(3), 785-800.
- Chiu, M. L., Chiu, M. H. in Ho, C. Y. (2002). Using Cognitive-based Dynamic Representations to Diagnose Students' Conceptions of the Characteristics of Matter. *Proceedings of the National Science Council*, 12(3), 91-99.
- deBerg, K. (2012). A Study of First-year Chemistry Students' Understanding of Solution Concentration at the Tertiary Level. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(1), 8-16.
- Devetak, I. (2005). *Pojasnjevanje latentnega prostora razumevanja submikroreprezentacij v naravoslovju* (Doktorska disertacija). Pedagoška fakulteta, Ljubljana.
- Devetak, I. (2012). *Zagotavljanje kakovostnega znanja naravoslovja s pomočjo submikroreprezentacij*. Ljubljana: Pedagoška fakulteta Univerze v Ljubljani.
- Devetak, I., Vogrinc, J. in Glažar, S. A. (2009). Assessing 16-year-old Students' Understanding of Aqueous Solution at Submicroscopic Level. *Research in Science Education*, 39(2), 157-179.
- Erim, A. in Yöndem, S. (2009). The Effect of Model Aided Teaching on Guitar Performance. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi (BEFjournal)*, 26, 45-55.
- Havanki, K. L. in VandenPlas, J. R. (2014). Eye Tracking Methodology for Chemistry Education Research. V D. M. Bunce in R. S. Cole (ur.), *Tools in Chemistry Education Research* (191-218). Washington: Oxford University Press.
- Kern, A. I., Wood, N. B., Roehrig, G. H. in Nyachwaya, J. (2010). A Qualitative Report of the Ways High School Chemistry Students Attempt to Represent Chemical Reaction at the Atomic/Molecular Level. *Chemistry Education: Research and Practice*, 11(3), 165-172.

- Kind, V. (2004). *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas, 2nd edition*. Durham: Durham University, School of Education.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D. in Blakeslee, T. D. (1993). Changing Middle School Students' Conceptions of Matter and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270.
- Liversedge, S. P. in Findlay, J. M. (2000). Saccadic Eye Movements and Cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 6-14.
- Olakanmi, E. E. (2015). The Effects of a Web-based Computer Simulation on Students' Conceptual Understanding of Rate of Reaction and Attitude Towards Chemistry. *Journal of Baltic Science Education*, 14(5), 627-640.
- Özalp, D. in 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.
- Pereira, M. P. in Pestana, M. E. M. (1991). Pupils' Representations of Models of Water. *International Journal of Science Education*, 13, 313-319.
- Rapp, D. N. in Kurby, C. A. (2008). The 'Ins' and 'Outs' of Learning: Internal Representations and External Visualizations. V J. Gilbert, M. Reiner in M. Nakhleh (ur.), *Visualization: Theory and Practice in Science Education* (str. 29-52). Dordrecht: Springer.
- Rayner, K. (2009). Eye Movements and Attention in Reading, Scene Perception, and Visual Search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506.
- Slapničar, M., Devetak, I., Glažar, S. A. in Pavlin, J. (2017). Identification of the Understanding of the States of Matter and Air Among Slovenian Students aged 12, 14 and 16 Years Through Solving Authentic Tasks. *Journal of Baltic Science Education*, 16(3), 308-323.
- Tompa, V. (2016). *Razumevanje izbranih kemijskih pojmov na submikroskopski ravni pri učencih devetega razreda osnovne šole* (Diplomsko delo). Pedagoška fakulteta, Ljubljana.
- Trumbo, J. (1999). Visual Literacy and Science Communication. *Science Communication*, 20(4), 409-425.
- Tsai, M., Hou, H., Lai, M., Liu, W. in Yang, F. (2011). Visual Attention for Solving Multiple-choice Science Problem: An Eye Tracking Analysis. *Computers & Education*, 58(1), 375-385.
- Tsitsipis, G., Stamovlasis, D. in Papageorgiou, G. (2010). The Effect of Three Cognitive Variables on Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter and its Changes of State. *International Journal of Science Education*, 32(8), 987-1016.
- Tsitsipis, G., Stamovlasis, D. and Papageorgiou, G. (2011). A Probabilistic Model for Students' Errors and Misconceptions on the Structure of Matter in Relation to Three Cognitive Variables, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10, 777-802.
- Wu, H. K., Krajcik, J. S. in Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualisation Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842.

Kratka predstavitev avtorjev

Miha Slapničar je profesor kemije in biologije. Na Pedagoški fakulteti je zaposlen kot asistent za kemijsko izobraževanje. Na fakulteti je študent doktorskega študija s področja izobraževanja učiteljev, kemijsko izobraževanje. Področje raziskovalnega dela je trojna narava kemijskih pojmov in napačna razumevanja kemijskih pojmov pri vsebini kemijskih reakcij.