

# PORTFOLIO PROJEKTA

## 1. DEL

### PROJEKT ARIS J5-50155

Dopolnjena resničnost za doseganje boljšega razumevanja trojne narave kemijskih pojmov  
nosilec prof. dr. Iztok Devetak

Dr. Iztok Devetak, dr. Klen Čopič Pucihar, dr. Matjaž Kljun, Miha  
Matjašič, Luka Ribič, dr. Miha Slapničar, Luka Vinko in dr. Anuradhi  
Maheshya W. Weerasinghe Arachchillage

## **DOPOLNJENA RESNIČNOST ZA DOSEGANJE BOLJŠEGA RAZUMEVANJA TROJNE NARAVE KEMIJSKIH POJMOV**

Od začetka devetdesetih let prejšnjega stoletja večina držav članic Evropske unije uvršča izobraževanje med prednostne naloge. Tudi v Sloveniji je kakovosten izobraževalni proces temeljni način za usvajanja kakovostnega znanja, ki je osrednji nacionalni interes in vodi k inovativnosti, produktivnosti in konkurenčnosti. Razumevanje naravoslovnih pojmov kot sestavni del ene od osmih ključnih kompetenc za vseživljenjsko učenje je izjemno pomembno, saj posamezniku omogoča, da v celoti izkoristi svoje potenciale ter razvije učinkovite učne strategije oziroma strategije za reševanje problemov, ki so povezani s problemi realnega življenja, kmetijstva, zdravja in ekologije. Kompetenca "učenje učenja" je ena od ključnih kompetenc vseživljenjskega učenja, ki od posameznikov zahteva, da poznajo in razumejo svoje najprimernejše učne strategije, prednosti in slabosti svojega znanja in kvalifikacij ter da znajo poiskati priložnosti za izobraževanje, usposabljanje in svetovanje in/ali podporo, ki so jim na voljo, ob upoštevanju svojih učnih sposobnosti in motivacije za doseganje učnih ciljev (Key Competences for Lifelong Learning in the European Schools, 2018). Učenje abstraktnih naravoslovnih vsebin in reševanje problemov lahko učencem na vseh stopnjah izobraževanja povzroča težave, saj zahteva razumevanje samega bistva problema in izpeljavo strategij za njegovo reševanje, česar učenci med izobraževanjem zaradi različnih razlogov večinoma ne pridobijo.

Pri kemiji, enem od naravoslovnih predmetov, so mnogi kemijski pojmi pogosto dojeti kot abstraktni za poučevanje in učenje, saj so predstavljeni na treh različnih ravneh: makroskopski (vizualni, realni, laboratorijski), submikroskopski (interakcije delcev) in simbolni (kemijski simboli, formule, enačbe) (Johnstone, 1982). Z uporabo različnih orodij za vizualizacijo lahko izobraževalci olajšajo razumevanje posameznih ravni predstavitve kemijskih pojmov. Zato je treba več pozornosti nameniti predstavitvi struktur različnih snovi na submikroskopski ravni, da bi učenci lahko razvili ustrezno razumevanje specifičnih kemijskih pojmov (Devetak, 2012). Za vizualizacijo na submikroskopski ravni je treba uporabljati statične in dinamične 2D ali 3D submikropredstavitve (SMR). Vendar je bilo ugotovljeno, da so učenci, ki so uporabljali dinamične 3D-predstavitve, zgradili boljše razumevanje kemijskih konceptov v primerjavi z učenci, ki so uporabljali statične 3D-predstavitve (Chen et al., 2015). Zato bi bilo treba v izobraževanje učiteljev v osnovni šoli uvesti pristope za razširitev realnih laboratorijskih dejavnosti (makroskopska raven). Ker lahko digitalne tehnologije v veliki meri podprejo takšna prizadevanja, lahko tak pristop predstavlja enega od stebrov ključnih digitalnih kompetenc.

Ključne digitalne kompetence za izobraževalce so bile zbrane in razvite v modelu DigCompEdu Evropskega okvira digitalnih kompetenc za učitelje (Redecker, 2017). Z vidika bodočih učiteljev je pomembno, da jim v okviru študija na fakulteti na vseh kompetenčnih področjih modela DigCompEdu omogočimo razvoj preko priložnosti za inovativno didaktično uporabo splošne in predmetno-specifične informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT) (Jedrinovič et al., 2019). V povezavi z navedenim modelom, je bil za področje kemijskega izobraževanja predlagan tudi predmetno specifični model Digitalnih kompetenc za učitelje kemije – DigCompEduChem (Ferk Savec in Mlinarec, 2022). Izhajajoč iz slednjega bomo v projektu v podporo izobraževanju bodočih učiteljev kemije razvili in implementirali v študijski proces primere aktivnosti za spodbujanje didaktične uporabe IKT pri pouku kemije, s poudarkom na dopoljeni resničnosti (AR), saj je ena od najbolj obetavnih tehnologij za doseganje tega cilja, opredeljenih v nedavni literaturi, prav dopoljena resničnost (AR) (npr. Abdinejad et al., 2021; Mazzuco et al., 2022). AR podpira vključevanje digitalnih vsebin v realno okolje, kar lahko močno razširi možnosti poučevanja in učenja s kemijskimi koncepti na makroskopski, submikroskopski in tudi simbolni ravni.

### *Opremljen raziskovalni problem*

Na podlagi pregleda ustrezne literature in znanstvenega ozadja lahko povzamemo, da je raziskovalni problem dvojen:

- (1) Pokazalo se je, da imajo prihodnji razredni učitelji številne napačne predstave o osnovnih kemijskih pojmi, zlasti pri trojni naravi predstavitev kemijskih pojmov (Pavlin et al., 2019; Potočnik in Devetak, 2021; Potočnik et al., 2022), in da bi morali kemijske pojme z razumevanjem razvijati tudi pri laboratorijskem delu.
- (2) Prihodnji učitelji kemije, nimajo dovolj razvitih kompetenc za didaktično uporabo IKT, ki jih bodo potrebovali, da bodo lahko učinkovito vključevali IKT v svoje prihodnje pedagoško delo, t. j. poučevanje kemije v osnovni in srednji šoli (Logar in Ferk Savec, 2009; Štemberger in Čotar, 2021; Ferk Savec in Mlinarec, 2022).

Različne tehnike zbiranja podatkov v raziskavah na področju edukacije, zlasti tiste, ki lahko pojasnjujejo različne kognitivne procese med učenjem, so lahko vprašljive z vidika veljavnosti pridobljenih podatkov. Zato je cilj tovrstnega raziskovanja vzpostaviti različne raziskovalne metode, razvite za predstavitev učnih procesov z različnih vidikov (Anderson, 2007). Ena od tehnik, ki se med učenjem uporablja kot dodatek k bolj tradicionalnim papir-svinčnik instrumentom ter za opis procesa učenja z različnih vidikov, je sledilnik oči, saj so ugotovljene povezave med procesi spoznavanja in gibanjem oči. Sanders in McCormick (1987) sta navedla, da več kot 80 % ljudi sprejema in obdeluje informacije po vizualni poti, pri čemer je gibanje oči bistvenega pomena. To je tudi pomemben kanal, na katerega lahko vplivamo med učenjem abstraktnih kemijskih pojmov, dopolnjena resničnost (AR) laboratorijskega dela pri učenju kemije pa je lahko pravi način takšnega vpliva.

Na podlagi teh predpostavk je smiselno povzeti, da bi morali učitelji bolj razumeti določene kemijske pojme (1. del raziskovalnega problema - glejte zgoraj), če bi bilo laboratorijsko delo podprto s posebnimi interaktivnimi vizualizacijami submikroskopskih prikazov eksperimentalnih opazovanj. Poleg tega bodo za obravnavo teh vidikov razvite laboratorijske dejavnosti dinamike reverzibilnih in ireverzibilnih kemijskih procesov (LA-DRICP), podprte z elementi vizualizacije dopolnjene resničnosti na submikroskopski ravni s simbolnimi zapisi (AR-SS). Ocenjen bo njihov učinek na razumevanje kemijskih pojmov prihodnjih učiteljev razrednega pouka. V tem procesu bo prihodnjim učiteljem naravoslovja predstavljena uporaba naprednih digitalnih orodij, kar bo razširilo njihovo obzorje o tem, kaj je mogoče doseči z IKT. Ne samo v okviru poučevanja kemije, temveč tudi v širokem spektru drugih predmetov in kontekstov.

#### *Cilji predlagane raziskave*

- Opraviti pregled literature o obstoječi programski opremi, povezani z AR, glede na njeno potencialno uporabo pri učenju in poučevanju kemije.
- Razviti primere dejavnosti za spodbujanje didaktične uporabe IKT pri pouku kemije s poudarkom na AR, da bi podprli usposabljanje bodočih učiteljev kemije na univerzitetni ravni pri pridobivanju kompetenc na področju specifičnih kemijskih vsebin.
- Oblikovati model za izvajanje didaktične uporabe AR pri laboratorijskih dejavnostih v študijskih programih za razredne učitelje na področju naravoslovja kemije, da bi razvili razumevanje trojne narave kemijskih pojmov.
- Razvoj sistema AR-SS, ki bo omogočal razumevanje dinamike reverzibilnih in ireverzibilnih kemijskih procesov med določeno laboratorijsko dejavnostjo.
- Preveriti učinkovitost izvajanja primerov dejavnosti za spodbujanje didaktične uporabe IKT pri pouku kemije, s poudarkom na AR, v podporo usposabljanju bodočih učiteljev kemije na univerzitetni ravni.
- Izvajanje laboratorijskih dejavnosti z elementi vizualizacije na ravni delcev s podporo AR in prevodi v simbolni kemijski jezik v študijskem programu prihodnjih učiteljev razrednega pouka pri predmetu naravoslovje kemija ter preverjanje učinkovitosti tega izvajanja.
- Prilagoditi razviti model izvajanja laboratorijske dejavnosti z AR v pristop k poučevanju kemije, ki temelji na raziskovanju, in za nižje stopnje izobraževanja (nižja in višja srednja šola za kemijo).

#### **Pregled in analiza dosedanjih raziskav in relevantne literature**

##### *Laboratorijsko delo pri učenju kemije*

Praktično učenje (laboratorijske dejavnosti pri kemiji) je preverjen način poučevanja, ki bistveno izboljša razumevanje pojmov, ki se poučujejo pri pouku. Izvajanje poskusov je tudi ena najpomembnejših raziskovalnih metod v kemiji. Laboratorijsko in drugo praktično delo sta zato bistvenega pomena tudi pri pouku kemije (Tsapalis, 2009), učenci pa morajo manipulirati s snovmi in ravnati z laboratorijsko opremo, da lahko izvajajo in opazujejo kemijske procese (Hodson, 1990) ter se učijo novih kemijskih pojmov. V osnovnošolskih in srednješolskih učnih načrtih eksperimentalno delo večinoma temelji na dejavnostih na makroskopski ravni, kar nakazuje, da morajo učenci kemijo razumeti kot eksperimentalno disciplino (Wissiak Grm in Glažar, 2002). Vendar je makroskopska raven kemije tudi bistvena sestavina, da učenci razumejo submikroskopsko (delčno) in simbolno raven kemijskih pojmov (Pavlin et al., 2019).

Poučevanje kemije na univerzi so običajno razdeljeni na dva dela, predavanja in laboratorijske dejavnosti. Na predavanjih študenti spoznajo teoretične osnove kemijskih pojmov, pri laboratorijskih dejavnostih pa so izpostavljeni praktični uporabi usvojenega znanja, saj se seznanijo z različnimi instrumenti, kemikalijami in

praktičnimi veščinami, ki so značilne za kemijske vede (An et al., 2020). Laboratorijske dejavnosti kot take podpirajo različne cilje, ki veljajo za pomemben del naravoslovnega izobraževanja (Abraham et al., 1997), kot so (1) spodbujanje in ohranjanje zanimanja za naravoslovje, (2) spodbujanje ustvarjalnega razmišljanja in konceptualnega razumevanja naravoslovja, (3) razvijanje praktičnih spretnosti in (4) razvijanje raziskovalnih spretnosti (Bruck et al., 2010).

Vendar pa nekateri raziskovalci menijo, da ni veliko dokazov, ki bi bistveno potrjevali pozitivne učinke laboratorijskega dela na učne rezultate učencev pri učenju kemije. Poleg tega nekatere raziskave kažejo, da se učenci osredotočajo predvsem na postopkovne vidike, namesto da bi teoretično znanje s predavanj z razumevanjem povezali z eksperimenti, izvedenimi v laboratorijskih dejavnostih (Hofstein in Lunetta, 2004; Winberg in Berg, 2007). Raziskave kažejo, da lahko dodatni pristopi poučevanja in učenja prispevajo k uspešnosti študentov pri laboratorijskih dejavnostih.

#### *Lastnosti učencev, ki lahko vplivajo na učenje kemije*

Kot poudarja Reid (2014), mora učenec za razumevanje pojma skoraj po definiciji v delovni spomin, katerega zmogljivost je zelo omejena, hkrati shraniti številna dejstva. Ta prizadevanja lahko privedejo do tega, da učenci preobremenijo zmogljivost svojega delovnega spomina. Raziskava (Jung in Reid, 2009) tudi potrjuje, da se učenci, ki so pokazali visoko zmogljivost delovnega spomina, bolj zanimajo za naravoslovje, ga poskušajo razumeti in se ne nameravajo učiti s pomnjenjem pojmov, kot to velja za učence s srednjo in nizko zmogljivostjo delovnega spomina.

Kot poudarja Taber (2014), bo učenje abstraktnih kemijskih pojmov minimalno, tudi če imajo učenci ustrezno razvite formalne sposobnosti razmišljanja, če v pouku ne vidijo smisla in nimajo interesa biti pozorni. Stipek (1998) trdi, da višja raven notranje motivacije za učenje določene vsebine pozitivno vpliva na uspešnost učencev pri razumevanju novih pojmov določene vsebine. Raziskave, kot so (Jurišević et al., 2008; Cavas, 2011), ugotavljajo, da je motivacija osnovnošolcev in srednješolcev ter študentov za učenje kemije ali naravoslovja nasploh zmerno povezana z njihovim uspehom pri kemiji. V zvezi s trojčkom iz kemije lahko sklepamo, da so učenci običajno bolj motivirani za učenje pojmov na makroravni in manj motivirani za učenje na submikroskopski in simbolni ravni (Devetak in Glažar, 2014; Jurišević et al., 2008).

Učenci morajo za pravilno razumevanje 3D animiranih submikropredstavitev (SMR) in reševanje posebnih nalog pridobiti formalno-razumske sposobnosti. Raziskave so pokazale, da obstajajo statistično pomembne povezave med formalnimi sposobnostmi sklepanja in kemijskim znanjem učencev (Valanides, 1996; Lewis in Lewis, 2007; Pavlin et al., 2019).

Eden od pomembnih vidikov, ki jih je treba upoštevati pri uvajanju posebnih izobraževalnih strategij pri pouku kemije, je nadarjenost učencev za kemijo. Sumida in Ohashi (2015) identificirata nadarjene učence s pomočjo: (1) njihove motivacije v neformalnih posebnih naravoslovnih programih, (2) izkušenj na naravoslovnih tekmovanjih in (3) njihovih vedenjskih značilnosti pri naravoslovju. V skladu s to predpostavko sta razvila poseben kontrolni seznam vedenjskih značilnosti nadarjenih. Zato je zelo pomembno, da med raziskovalnimi poskusi ocenimo zmogljivost delovnega spomina, formalne sposobnosti sklepanja, motivacijo ter zanimanje in nadarjenost udeležencev za kemijo, da bi bolje razumeli in oblikovali dobljene rezultate.

#### *Vizualizacija pri pouku kemije*

Pomembno vlogo uporabe modelov in modeliranja pri znanstvenih odkritjih za vizualizacijo konceptov in procesov na ravni delcev so od 19. stoletja dalje izkazovali številni vodilni kemiki, kot so Kekulé, Van't Hoff, Pauling, Watson in Crick (Justi in Gilbert, 2002), pogosto povezani z ustreznimi Nobelovimi nagradami na področju kemije, fizike in medicine. V sodobni znanosti nove dosežke, povezane z uporabo modelov in modeliranjem, podpira uporaba računalniških metod in računalniške grafike (Nobel Assembly at Karolinska Institutet, 2019).

Modeli imajo pomembno vlogo ne le v znanstvenih raziskavah, temveč tudi v naravoslovnem izobraževanju. Johnstone (1991) je prvi poudaril, da predstavitev naravoslovnih pojmov in procesov temelji na predstavitev na treh ravneh: makroskopski (opazovani pojavi), submikroskopski ali delčni (različne predstavitve atomskih, molekularnih in delčnih modelov) in simbolni (matematični in kemijski simboli). V zvezi s tem se je pokazalo, da vključevanje treh ravni konceptualnih predstavitev v učni proces učencem omogoča, da si ustvarijo miselne

podobe ustreznih pojavov, kar podpira njihovo boljše razumevanje (Al-Balushi in Al-Hajri, 2014; Ferk Savec idr., 2009).

Pogosto se domneva, da učenci razumejo submikroskopske predstavitve (SMR) in se z njimi učinkovito učijo, saj jih izkušeni kemiki lahko hkrati uporabljajo kot del trojne predstavitve kemijskih pojmov (Johnstone, 1991). Vendar raziskave kažejo, da zgolj obilna prisotnost SMR ne zagotavlja učinkovitega učenja (Furió-Más et al., 2005; Gkitzia et al., 2011; Ferk Savec et al., 2016; Hrast in Ferk Savec, 2017). Raziskovalci (Stull et al., 2016; Stieff et al., 2016) so ugotovili, da je za učinkovito uporabo vizualizacij ključnega pomena, da se pri učencih razvije predstavitvena kompetenca. Po Stieffu in drugih (2016) predstavitvena kompetenca obsega poseben sklop spretnosti za konstruiranje, izbiranje, interpretiranje in uporabo disciplinarnih predstavitev za komuniciranje, učenje ali reševanje problemov. Raziskovalni dokazi (Ferk idr., 2003; Ferk Savec idr., 2005; Kozma idr., 2000; Stull idr., 2012) kažejo, da na uspešno učenje učencev s SMR pomembno vpliva predstavitvena kompetenca pri kemiji. Kozma in Russell (2005) sta podrobneje opredelila njeno vlogo pri učenju kemije - za doseganje strokovnega znanja na tem področju morajo učenci obvladati določen sklop spretnosti, npr. sposobnost analiziranja značilnosti predstavitve, preoblikovanja ene predstavitve v drugo, ustvarjanja različnih predstavitev, pojasnjevanja uporabnosti določene predstavitve in razlage značilnih možnosti različnih predstavitev.

### *Obogatena resničnost in poučevanje*

Dopolnjena resničnost (AR) je neposreden ali posreden pogled v živo na dejansko fizično, realno okolje, ki ga dopolnjujejo računalniško ustvarjeni elementi. Za razliko od virtualne resničnosti, ki poskuša nadomestiti resnični svet s simuliranim, si dopolnjena resničnost prizadeva izboljšati zaznavanje resničnosti. AR je nastajajoča tehnologija, platforma, na kateri se združujeta fizični in virtualni svet. V zadnjih nekaj letih se je uporaba tehnologije AR v izobraževanju, zlasti tistem s področja STEM, močno povečala (An et al., 2020).

Učenci lahko s pomočjo AR razvijajo pomembne prakse in pismenosti, ki jih v drugih tehnološko podprtih učnih okoljih ni mogoče (ali jih je težko) razviti in uveljaviti (Squire in Jan, 2007). Delo na tem področju je razkrilo več prednosti (Santos et al., 2013), kot so (1) razpoložljivost zaželenih naivnih fizik, ki jih zagotavljajo priboljški AR (Hornecker, 2012), (2) pozitivni učinki na kognitivno obremenitev in motivacijo (Cheng, 2017) ter na prostorske sposobnosti (Martín-Gutiérrez et al., 2010), (3) pozitivni učinki na izkušnjo sodelovanja (Alhumaidan et al., 2018; Gomez, 2003) (4) enostavnost pri vizualizaciji zapletenih prostorskih odnosov in abstraktnih pojmov (Arvanitis et al., 2009), (5) možnost doživljanja pojavov, ki jih je v resničnem svetu težko ali nemogoče doživeti (Klopfer in Squire, 2008), in (6) pozitivne učinke na učne rezultate (Weng et al., 2019).

Ne glede na obsežno delo in pozitivne rezultate, o katerih so poročali, nekateri raziskovalci trdijo, da so "v primerjavi s študijami drugih zrelejših tehnologij v izobraževanju (npr. multimedijskih in spletnih platform) raziskave uporabe AR v izobraževanju v zgodnji fazi, dokazi o učinkih AR na poučevanje in učenje pa so površni" (Wu et al., 2013). Drugi raziskovalci so to potrdili z razkritjem velike variabilnosti velikosti učinka med različnimi študijami (Santos et al., 2013). Zdi se, da so tudi posamezne študije sistemov AR v znanstveni literaturi le enkratni, kratki poskusi (Prieto et al., 2014). Muñoz trdi, da mora raziskovalna skupnost sodelovati s pedagogi, da bi napredovala na tem področju (Muñoz, 2017), in preiti od teh kratkoročnih k longitudinalnim študijam v naravi, ki bi merile učinke na dolgi rok.

### *Obogatena resničnost in poučevanje kemije*

Potekale so raziskave o uporabi tehnologije AR v kemijskem izobraževanju na različnih stopnjah šolanja. V več študijah so na primer uporabili AR za boljše predstavitve 3D modela atomov v povezavi s periodnim sistemom elementov (Abd Majid in Abd Majid, 2018) ter 3D organskih in anorganskih modelov molekul (Irwansyah et al., 2017; Behmke et al., 2018; Irwansyah et al., 2020; Fatemah et al., 2020; Wong et al., 2021), pomoč učencem pri vizualizaciji molekul ali učenju stereokemije in molekulskih interakcij v organski kemiji (Chiu et al., 2019; Kailer Aw et al., 2020; Elford et al., 2021; Elford et al., 2022), razumevanju kemijske vezi (Saidin et al., 2019), kemijskega ravnotežja (Tarng et al., 2022), mehanizma kromatografije (Merino et al., 2022) in kompleksnih kristalnih struktur (Schmid et al., 2020). Vendar je treba poudariti, da je potrebno elemente vizualizacije z AR na submikroskopski ravni predstaviti tako, kot kemijska znanost vidi delce in njihove interakcije na tej stopnji razvoja, zlasti ker nekateri članki niso posvetili veliko pozornosti oblikovanju ustreznih elementov vizualizacije (npr. Su et al., 2014; Macariu et al., 2020). Literatura, ki naslavlja prihodnje učitelje kemije in didaktično uporabo IKT, s poudarkom na AR, kaže na težnjo prihodnjih učiteljev po vključevanju IKT v svojo bodočo pedagoško prakso

(Oberdörfer et al., 2021) in prepoznavanje prednosti tehnologije AR za izboljšanje učenja s strani prihodnjih učiteljev, vključno s povečanjem motivacije, vključenosti in znanja o predmetu (Delello, 2014; Díaz Noguera et al., 2017; Grinshkun et al., 2021). Vendar literatura opozarja, da je vključevanje AR v pouk povezano z izzivi: AR je lahko zamudna, včasih moteča (Delello, 2014), učitelji morda nimajo potrebnih znanj za uporabo te tehnologije ali nimajo potrebne opreme (Grinshkun et al., 2021). Zato je v literaturi poudarjeno, da je treba učiteljem zagotoviti ustrezno usposabljanje pred začetkom dela in med delom, da bi lahko pedagoški potencial AR uspešno prenesli v prakso (Oberdörfer et al., 2021).

Z uporabo AR so bili izvedeni različne laboratorijske dejavnosti, ki so študentom olajšali laboratorijske izkušnje. Učenci so na primer izvajali poskuse kolorimetrične titracije (Tee et al., 2018), poskus razvijanja plina kisika iz vodikovega peroksida in reakcije beljenja (Gan et al., 2018), poskuse z Daniellovim členom (Tarng et al., 2021), kako uporabljati različne instrumente, kot sta pH meter in konduktometer, in da takšne AR aplikacije zmanjšujejo tesnobo, povezano z uporabo instrumentov, ter izboljšujejo intelektualno dostopnost (An et al., 2020). Rogério da Silva in drugi (2019) so predstavili orodje za učenje uporabe steklovine v kemijskem laboratoriju, v katerem je predstavljena AR aplikacija, razvita za naprave s sistemom Android. Rezultati kažejo, da aplikacija učencem ponuja podobne možnosti učenja o steklovini kot resnična laboratorijska izkušnja. AR se lahko uporablja tudi za to, da učenci z interaktivnim okoljem razumejo varnostne postopke, ki se izvajajo med poskusi v laboratorijih (Hanafi et al., 2019). Woźniak et al. (2020) so analizirali učinkovitost aplikacije AR za zagotavljanje navodil za laboratorijske postopke na kraju samem. Rezultati so pokazali, da lahko interaktivna orodja za vodenje uspešno povečajo zaupanje študentov v laboratorijske dejavnosti ter prispevajo k učinkovitejšemu in bolj organiziranemu poteku dela v učilnici. Študije, ki povezujejo makro- in submikroravni kemijskih konceptov v laboratorijskem okolju z uporabo AR, so redke. Ena od študij je pokazala, da je več študentov uporabilo aplikacijo po laboratoriju v primerjavi s tistimi pred ali med laboratorijem. Ti rezultati kažejo, da študenti raje uporabljajo to vrsto tehnologije kot orodje za refleksijo in utrjevanje svojih laboratorijskih izkušenj (Ovens et al. 2020).

### Podroben opis vsebine in programa dela raziskovalnega projekta

Projekt je razdeljen na sedem delovnih paketov, ki so namenjeni učinkovitemu spremljanju in upravljanju projekta.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                     |                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------|
| <b>Številka delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1                                   | <b>Vodja delovnega paketa</b> | UL PEF |
| <b>Naslov delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Opredelitev temeljnih vsebin</b> |                               |        |
| <b>Načrtovane ure ARRS na leto</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 100                                 |                               |        |
| <b>Začetni mesec</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | M01                                 | <b>Konec meseca</b>           | M06    |
| <b>Cilji</b><br>- Opredelitev in razvoj temeljnih vsebin za izvajanje dejavnosti dopolnjene resničnosti (AR) v izobraževalnem procesu (laboratorijsko delo prihodnjih učiteljev razrednega pouka in didaktično izobraževanje prihodnjih učiteljev kemije) (C1)<br>- Priprava raziskovalne dokumentacije za Komisijo za etiko Pedagoške fakultete Univerze v Ljubljani (C2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                     |                               |        |
| <b>Opis dela</b><br><b>Naloga 1.1. Opredelitev nabora temeljnih vsebin</b><br>V tej nalogi je bil opredeljen nabor temeljnih vsebin, ki zajemajo pojme o trojni naravi kemijskih pojmov o povratnih in nepovratnih kemijskih procesih na podlagi učnih načrtov za kemijo na univerzitetni ravni za program laboratorijskega dela za prihodnje učitelje razrednega pouka. Glede na pregled vsebin, ki so predpisane po učnem načrtu je bila sprejeta odločitev, da se bo uporabila vsebina o biogeokemičnih ciklih snovi na Zemlji. Pri tem se je natančneje ugotovilo stanje razumevanja teh vsebin pri prihodnjih učiteljih razrednega pouka. Rezultati so pokazali, da je razumevanje podpovprečno [Priloga 1; Priloga 2]. Iz tega je sledil izbor manjšega dela vsebine o kroženju dušika na Zemlji, ki je povezan s preživetjem človeštva, saj intenzivno kmetijstvo in proizvodnja hrane vpliva na cikel dušika.<br>Opravljen je bil tudi sistematični pregled literature uporabe AR, ki je identificiral možne pozitivne in negativne vidike njene uporabe pri učenju kemijskih pojmov [Priloga 3], ter sistematični pregled uporabe očesnih premikov, ki so kazatelj kognitivnih procesov pri procesiranju kemijskih informacij, ki so del AR [Priloga 4]. |                                     |                               |        |

### Naloga 1.2. Razvoj nabora temeljnih vsebin

Po opredelitvi ključnih vsebin bo potekal razvoj določenega števila modulov za Laboratorijske dejavnosti dinamike povratnih in nepovratnih kemijskih procesov (LA-DRICP) s predlogi elementov vizualizacije s podporo dopolnjene resničnosti na submikroravni s simbolnim kemijskim jezikom (AR-SS). V okviru te naloge bo potekal tudi razvoj primerov dejavnosti za spodbujanje didaktične uporabe IKT pri poučevanju kemije s poudarkom na AR (Set ICT+AR Activities), da bi podprli usposabljanje bodočih učiteljev kemije na univerzitetni ravni. Razvit je bil modul laboratorijskih aktivnosti na področju kroženja dušika [Priloga 5].

### Naloga 1.3. Pisanje dokumentov za etično komisijo

Ker raziskava vključuje posamezne udeležence (starejše od 18 let), je treba pripraviti tudi vse potrebne dokumente za etično komisijo Pedagoške fakultete Univerze v Ljubljani. Komisija je podala pozitivno oceno glede na etične vidike raziskave [Priloga 6].

### Mejniki (M) in rezultati (R):

- M1 (M06): Identifikacija in razvoj temeljnih vsebin, podprtih z elementi vizualizacije AR, za uporabo v izobraževalnem procesu
- R1 (M02): Dokumenti za Komisijo za etiko Pedagoške fakultete Univerze v Ljubljani
- R2 (M06): Seznam in opis osnovnih vsebin, podprtih z elementi vizualizacije AR

|                                    |                                             |                               |        |
|------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|--------|
| <b>Številka delovnega paketa</b>   | 2                                           | <b>Vodja delovnega paketa</b> | UL PEF |
| <b>Naslov delovnega paketa</b>     | <b>Zasnova raziskave in pilotna študija</b> |                               |        |
| <b>Načrtovane ure ARRS na leto</b> | 434                                         |                               |        |
| <b>Začetni mesec</b>               | M07                                         | <b>Konec meseca</b>           | M12    |

### Cilji

- Razvoj raziskovalne zasnove (C3)
- Opredelitev in razvoj merilnih instrumentov (C4)
- Izvedba pilotne študije (C5)

### Opis dela

#### Naloga 2.1. Razvoj raziskovalnega načrta

Priprava raziskovalnega načrta in načrta eksperimenta z oceno potrebnega števila udeležencev za določitev statistične moči študije in metod za zbiranje podatkov za spremljanje kognitivnih procesov pri spoznavanju trojne narave kemijskih pojmov z laboratorijskim delom in uporabo instrumentov. Načrtovana je razdelitev udeležencev, podskupine (A) prihodnjih učiteljev razrednega pouka, v dve skupini: (1) kontrolno skupino z izvajanjem LA-DRICP in instrumentov za sledenje očalom in očalom za sledenje očem ter papirnatimi delovnimi listi za laboratorijsko delo; in (2) eksperimentalno skupino z izvajanjem LA-DRICP + AR-SS in instrumentov za sledenje očalom in očalom MagicLeap, tablicami s programsko opremo AR ter papirnatimi delovnimi listi za laboratorijsko delo. Podskupina (B) – prihodnji učitelji kemije – bodo sodelovali pri izvajanju sklopa dejavnosti za prihodnje učitelje kemije, ki spodbujajo didaktično uporabo IKT, vključno z AR, pri poučevanju in učenju kemije (sklop IKT+AR dejavnosti). Prav tako se bo med vajami predmeta, namenjenega usposabljanju za integracijo IKT v poučevanje in učenje kemije, razvijala uporaba papir-svinčnik in online instrumentov ter portfoliov učencev.

#### Naloga 2.2. Izbira in priprava instrumentov

Razvili in optimizirali se bodo merilni instrumenti za posebne kvantitativne spremenljivke, kot so vprašalniki v obliki papir-svinčnik ali on-line vprašalniki, preizkusi znanja, testi... ali pa bodo izbrani iz obstoječega nabora instrumentov. Pomembno je nadzorovati čim več neodvisnih spremenljivk, ki lahko vplivajo na učenje kemije. Zato je seznam možnih instrumentov precej obsežen in za namene te študije bodo ti instrumenti obravnavani in morebiti uporabljeni v študiji.

#### **(A) Podskupina prihodnji učitelji razrednega pouka**

- *predhodno znanje o reverzibilnosti in ireverzibilnosti kemijskih procesov (Pre-achievement test - 4-stopenjski diagnostični instrument)*
- *nadarjenost za kemijo (npr. Sumida & Ohashi (2015) - samoocenjevalna lestvica o vedenjskih značilnostih nadarjenih učencev, vprašalnik za ugotavljanje vedenja)*
- *kapaciteta delovnega spomina (npr. test Digit Span - test pomnjenja števil).*

- *formalno-logične sposobnosti (npr. test logičnega razmišljanja TOLT)*
- *sposobnosti vizualizacije (npr. test prostorske vizualizacije Purdue - vizualizacija rotacij)*
- *kognitivni stili (npr. Riding in Sadler-Smith (1992) - Ridingova analiza kognitivnih stilov - CSA)*
- *individualni interesi (npr. vprašalnik o individualnih interesih)*
- *razlogi za učenje kemije (npr. prilagojen vprašalnik teorije samoodločanja Ryan & Deci (2000))*
- *notranja motivacija za učenje trojna narava kemijskih pojmov (npr. vprašalnik o notranji motivaciji za učenje kemije)*
- *očesni gibi - fiksacije, sakade, sprememba velikosti zenice (npr. meritve s sledilnikom oči)*

Po uporabi LA-DRICP ali LA-DRICP+AR-SS v predizobraževanju učiteljev kemije se izmerijo nekatere odvisne spremenljivke, na katere lahko vpliva poseben izobraževalni pristop. V te namene bodo uporabljeni ti instrumenti:

- *znanje o reverzibilnih in ireverzibilnih kemijskih procesih (test dosežkov 1 - 4-stopenjski diagnostični instrument)*
- *ohranjeno znanja o reverzibilnih in ireverzibilnih kemijskih procesih (test dosežkov 2 - 4-stopenjski diagnostični instrument)*
- *zanimanje za LA-DRICP in LA-DRICP+AR-SS (vprašalnik o situacijskem interesu)*
- *dejavnosti udeležencev pri laboratorijskem delu (npr. rubrike za opazovanje za LA-DRICP in LA-DRICP+AR-SS)*

#### **(B) Podskupina prihodnji učitelji kemije**

Pri tem projektu, namenjenem podskupini učiteljev kemije, bo uporabljen niz kvantitativnih instrumentov za zbiranje podatkov. Seznam možnih instrumentov je naslednji:

- *nadarjenost za kemijo (npr. Sumida & Ohashi (2015) - samoocenjevalna lestvica o vedenjskih značilnostih nadarjenih učencev, vprašalnik za ugotavljanje vedenja)*
- *individualni interesi (npr. vprašalnik o individualnih interesih)*
- *sposobnosti vizualizacije (npr. Purdue test prostorske vizualizacije - vizualizacija rotacij)*
- *dojemanje svojih digitalnih kompetenc, povezanih z DigCompEdu (npr. SELFIE),*
- *zaznavanje usposobljenosti za uporabo AR pri poučevanju in učenju kemije (npr. Cooper et al., 2019),*
- *zaznavanje dodane vrednosti uporabe AR pri poučevanju in učenju kemije (npr. Noguera et al., 2017; Uygur et al., 2018).*

Po implementaciji sklopa aktivnosti za prihodnje učitelje kemije, ki bo spodbujala didaktično uporabo IKT, vključno z AR, pri poučevanju in učenju kemije (Set ICT+AR Activities), se bo pri vajah predmeta, namenjenega usposabljanju prihodnjih učiteljev kemije za uporabo IKT podpora poučevanju in učenju kemiju, uporabil tudi naslednji instrument:

- *portfelj udeležencev (npr. rubrike za analizo izbranih izdelkov, ki so jih razvili udeleženci)*

#### **Naloga 2.3. Izvedba pilotne študije v podskupini (A)**

Približno 30 udeležencev v podskupini (A) prihodnjih učiteljev razrednega pouka bo razdeljenih v dve skupini: (1) kontrolna skupina z izvajanjem LA-DRICP in instrumenti na papirju/n spletu ter očali za sledenje očem (približno 6 učencev) in laboratorijskimi delovnimi listi na papirju (približno 15 učencev); in (2) eksperimentalna skupina z izvajanjem LA-DRICP + AR-SS in instrumenti na papirju/n spletu, očali AR MagicLeap (približno 6 učencev), tablicami s programsko opremo AR (približno 15 učencev) in laboratorijskimi delovnimi listi na papirju (približno 15 učencev). Namen te naloge je razvoj in optimizacija metode za zbiranje podatkov za spremljanje kognitivnih procesov pri spoznavanju trojne narave kemijskih pojmov s pomočjo laboratorijskega dela.

#### **Naloga 2.4. Izvedba pilotne študije v podskupini (B)**

V tej nalogi bo izveden sklop dejavnosti za prihodnje učitelje kemije (približno 20 udeležencev) za spodbujanje didaktične uporabe IKT, vključno z AR, pri poučevanju in učenju kemije (sklop IKT+AR dejavnosti). Namen te naloge je razvoj in optimizacija metode za zbiranje podatkov za spremljanje razvoja kompetenc prihodnjih učiteljev kemije pri uporabi IKT v podporo učnemu procesu pri predmetu kemija v osnovni in srednji šoli.

#### **Mejniki (MS) in rezultati (D):**

- M2 (M12): Priprava specifičnih kvantitativnih papir/svinčnik in online instrumentov, razvoj raziskovalnega načrta in izvedba pilotne študije.
- R2 (M9): Seznam izbranih merilnih instrumentov z navodili za izvajanje in vrednotenje

- R3 (M12): Poročilo o analizi podatkov pilotne študije (vmesno poročilo o raziskavi 1)
- D4 (M12): Optimizirana zasnova raziskave za izvedbo v glavni študiji

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                      |                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| <b>Številka delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3                                                                    | <b>Vodja delovnega paketa</b> | UP FAMNIT |
| <b>Naslov delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Oblikovanje in razvoj aplikacij za dopolnjeno resničnost (AR)</b> |                               |           |
| <b>Načrtovane ure ARRS na leto</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 708                                                                  |                               |           |
| <b>Začetni mesec</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | M07                                                                  | <b>Konec meseca</b>           | M12       |
| <b>Cilji</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                      |                               |           |
| - Oblikovanje in razvoj aplikacije AR za predstavitev delčnih in simbolnih ravni kemijskih konceptov (C6)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |                               |           |
| <b>Opis dela</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                      |                               |           |
| <u>Naloga 3.1. Oblikovanje aplikacij AR</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                      |                               |           |
| V tej nalogi bodo zasnovane vse aplikacije AR. Pozorno bodo upoštevane posebne značilnosti ročnih in vizualnih vidnih sistemov AR. Zlasti se bomo osredotočili na optimizacijo interakcijskih paradig, ki so se v preteklosti izkazale za uspešne, in se osredotočili na zasnove, ki omogočajo optimalno delovanje sistema AR. Cilj je čim bolj zmanjšati vpliv tehnoloških omejitev na eksperimentiranje. To nam bo omogočilo, da se osredotočimo na raziskovanje učnih procesov.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                      |                               |           |
| <u>Naloga 3.2 3D modeliranje in animacija</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                      |                               |           |
| V okviru te naloge bodo razviti 3D modeli in animacije, ki predstavljajo reverzibilne in ireverzibilne kemijske procese na ravni delcev. Pravilnost izdelanih modelov in animacij bo potekala pod nadzorom strokovnjakov s področja kemije. Modeli bodo optimizirani tako, da bodo delovali z interaktivnim številom sličic na mobilni strojni opreml (npr. pametni telefon, HoloLens 2).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                      |                               |           |
| <u>Naloga 3.3. Razvoj aplikacije AR</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                      |                               |           |
| Namen te naloge je povezati različne digitalne medije, kot so 3D vizualizacije (npr. animirani 3D modeli, anotacije), zvok (npr. besedne razlage) in interaktivni elementi (npr. 3D gumbi, drsniki, besedilo), v skladen in funkcionalen učni sistem AR, ki bo predstavil delčne in simbolne ravni kemijskih pojmov. Te aplikacije bodo zgrajene z uporabo igralnega pogona Unity. To nam bo omogočilo, da jih uglasimo na več platformah, kot so mobilni telefoni in naglavni zasloni (npr. MagicLeap one, HoloLens2). Razviti sistemi bodo pripravljeni za neposredno implementacijo v laboratorijsko delo. Izvorna koda je objavljena na spletu [Priloga 7]. Implementacija AR aplikacij v razvit modul laboratorijskih aktivnosti o kroženju dušika je bil predstavljen na dveh konferencah [Priloga 8; Priloga 9]. |                                                                      |                               |           |
| <b>Mejniki (M) in rezultati (R):</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                      |                               |           |
| - S3 (M9): Dokončana zasnova aplikacije AR in animirani 3D modeli.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                      |                               |           |
| - R5 (M12): Aplikacija dopolnjene resničnosti z elementi vizualizacije na submikroskopski ravni s simbolnimi prevodi (AR-SS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                      |                               |           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                       |                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----|
| <b>Številka delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4                     | <b>Vodja delovnega paketa</b> | PEF |
| <b>Naslov delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Glavna študija</b> |                               |     |
| <b>Načrtovane ure ARRS na leto</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1083                  |                               |     |
| <b>Začetni mesec</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | M13                   | <b>Konec meseca</b>           | M30 |
| <b>Cilji</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |                               |     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Glavno zbiranje podatkov v podskupini (A)(C7)</li> <li>- Glavno zbiranje podatkov v podskupini (A)(C8)</li> <li>- Analiza podatkov glavne študije in izvajanje napovednega modeliranja (C9)</li> <li>- Pisanje raziskovalnih poročil – vmesno poročilo 2 in zaključno poročilo (C10)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                      |                       |                               |     |
| <b>Opis dela</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                       |                               |     |
| <u>Naloga 4.1. Izbor udeležencev</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       |                               |     |
| Za glavno študijo bo izbranih približno 220 udeležencev, od tega približno 160 v podskupino (A) - prihodnjih učiteljev razrednega pouka in približno 10 udeležencev v podskupino (B) - prihodnjih učiteljev kemije. Udeleženci v podskupini (A) bodo glede na izbrane neodvisne spremenljivke razdeljeni v kontrolno in eksperimentalno skupino. Udeleženci v podskupini (B) zaradi drugačne narave pedagoške raziskave ne bodo razdeljeni v skupine. Udeleženci bodo stari približno 19 let in bodo vpisani na študijske programe Univerze v |                       |                               |     |

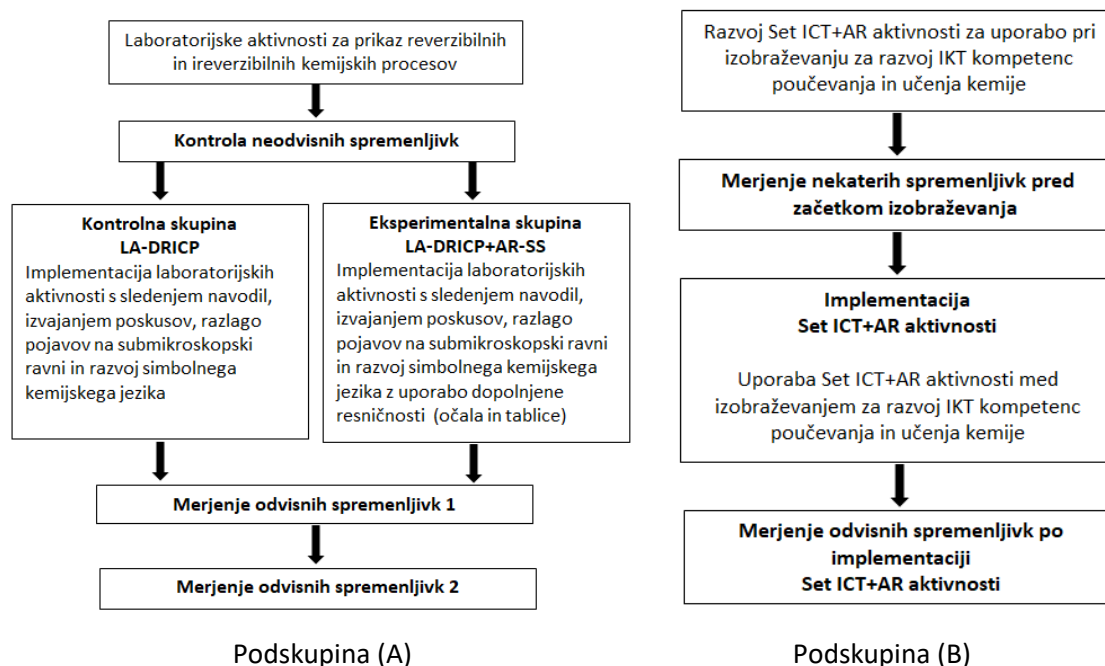
Ljubljani v dveh študijskih letih. Vsi udeleženci so imeli pred vključitvijo v to raziskavo vsaj tri leta kemijskega izobraževanja.

#### Naloga 4.2. Zajem podatkov v podskupini (A)

Namen te naloge je zbrati podatke za spremljanje kognitivnih procesov pri spoznavanju trojne narave kemijskih pojmov pri laboratorijskem delu. Ker je raziskovalna zasnova za to skupino učencev po svoji naravi kvazi-eksperimentalna, bo aplikacija instrumentov potekala v dveh skupinah (slika 1). Pri tej nalogi bo sodelovalo približno 160 bodočih učiteljev razrednega pouka. Od tega bo približno 80 udeležencev kontrolne skupine z izvajanjem laboratorijske aktivnosti LA-DRICP in aplikacijo instrumentov (predstavljenih v DP2) ter uporabo očal za sledenje očesnim gibom (pribl. 16 udeležencev) in/ali le laboratorijskih delovnih listov (pribl. 64 udeležencev). Približno 80 udeležencev pa bo sodelovalo v (2) eksperimentalni skupini z izvajanjem laboratorijske aktivnosti LA-DRICP + AR-SS in aplikacijo instrumentov (predstavljenih v DP2), očal AR MagicLeap (pribl. 8 udeležencev), tablic s programsko opremo AR (pribl. 72 udeležencev) in papirnatih laboratorijskih delovnih listov. Pred uporabo LA-DRICP ali LA-DRICP+AR-SS v predizobraževanju učiteljev je treba nadzorovati nekatere neodvisne spremenljivke, ki lahko vplivajo na razvoj znanja učencev o povratnosti kemijskih procesov. Te spremenljivke so predznanje, nadarjenost za kemijo, zmogljivost delovnega spomina, formalne sposobnosti sklepanja, vizualizacijske sposobnosti, kognitivni stili, individualni interes, razlogi za učenje kemije in notranja motivacija za učenje kemije na trojni ravni kemijskih pojmov. Po uporabi LA-DRICP ali LA-DRICP+AR-SS v predizobraževanju učiteljev kemije je treba izmeriti nekatere odvisne spremenljivke, na katere lahko vpliva poseben izobraževalni pristop, kot so uspešnost laboratorijskega dela, gibanje oči, situacijski interes, pridobljeno znanje in ohranjanje znanja. Te spremenljivke lahko pokažejo, kako uspešna sta bila LA-DRICP in LA-DRICP+AR-SS pri razvijanju kemijskih kompetenc učiteljev pred začetkom dela.

#### Naloga 4.3. Zajem podatkov v podskupini (B)

Namen te naloge je zbrati podatke o kompetencah prihodnjih učiteljev kemije za uporabo IKT pri poučevanju in učenju kemije. Ker je raziskovalni načrt za to skupino učencev po svoji naravi pojasnjevalna sekvenčna mešana metoda, bo izvajanje instrumentov potekalo v eni skupini, s pred-po raziskovalnim pristopom (slika 1). V tej nalogi bo sodelovalo približno 60 prihodnjih učiteljev kemije. Glavna dejavnost v tej nalogi bo uporaba instrumentov na papirju in svinčniku/internetnih instrumentov ter izvajanje Sklopa dejavnosti za prihodnje učitelje kemije, ki spodbujajo didaktično uporabo IKT, vključno z AR, pri poučevanju in učenju kemije (sklop IKT+AR dejavnosti). Udeleženci bodo med vajami predmeta, namenega usposabljanju za vključevanje IKT v podporo poučevanju in učenju kemije, pripravili tudi portfolije.



Slika 1. Shema poteka glavne raziskave.

#### Naloga 4.4. Analiza podatkov

V tej nalogi bodo podatki, pridobljeni v nalogah 4.2. in 4.3., analizirani v skladu z raziskovalnim problemom, raziskovalnimi vprašanji in hipotezami. Za analizo bo uporabljen statistični paket SPSS. Opravljena bo opisna, inferenčna in multivariantna analiza. Glede na spremenljivke, izmerjene v predhodnih nalogah, bo razvit model za uporabo AR v kemijskem izobraževanju s pomočjo napovednega modeliranja razvoja kemijskih kompetenc prihodnjih učiteljev razrednega pouka in učiteljev kemije uporabe trojne narave predstavitev kemijskih pojmov.

#### Naloga 4.5. Pisanje raziskovalnih poročil

Glavna dejavnost pri tej nalogi bo priprava vmesnega poročila 2 in končnega poročila o raziskavi. Ti poročili bosta del formalnega poročanja in komunikacije z ARRS. Delo v tej nalogi bo tudi glavni vir za razširjanje (DP5).

#### Mejniki (MS) in rezultati (R):

- M4 (M28): Končano zbiranje podatkov podskupine (A).
- M5 (M29): Končano zbiranje podatkov podskupine (B).
- M6 (M30): Analiza podatkov glavne študije.
- M7 (M36): Končana glavna študija.
- R6 (M24): Vmesno raziskovalno poročilo 2 o napredku projekta.
- R7 (M36): Končno raziskovalno poročilo o projektu z razvitim modelom za izobraževanje učiteljev kemije in izobraževanje učiteljev na razredni stopnji.

|                                    |                     |                               |     |
|------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----|
| <b>Številka delovnega paketa</b>   | 5                   | <b>Vodja delovnega paketa</b> | PEF |
| <b>Naslov delovnega paketa</b>     | <b>Diseminacija</b> |                               |     |
| <b>Načrtovane ure ARRS na leto</b> | 209                 |                               |     |
| <b>Začetni mesec</b>               | M06                 | <b>Konec meseca</b>           | M36 |

#### Cilji

- razširjanje ugotovitev raziskovalnih poročil (C11).

#### Opis dela

##### Naloga 5.1. Oblikovanje in posodabljanje spletne strani

V okviru te naloge je treba vzpostaviti spletno stran (<https://www.pef.uni-lj.si/dopolnjena-resnicnost/>) z osnovnimi informacijami o projektu, novicami in ugotovitvami ter vzpostaviti račune na družbenih omrežjih, kot sta npr. X, LinkedIn in Facebook.

##### Naloga 5.2. Letno izdajanje glasila

Pomembnost razširjanja letnih ugotovitev projekta potencialnim deležnikom (npr. učiteljem kemije na vseh ravneh izobraževanja in oblikovalcem politik) bo zagotovljena z glasilom, ki se bo pošiljalo po elektronski pošti in objavljalo na spletni strani projekta.

##### Naloga 5.3. Objavljanje člankov v revijah

Ocenjuje se, da bo v času projekta napisanih in oddanih več člankov (vsaj 5) v odprto dostopni reviji s faktorjem vpliva (S)SCI in drugih revijah ((S)SCI in Scopus) s področja naravoslovnega (zlasti kemijskega) in računalniškega izobraževanja.

##### Naloga 5.4. Predstavitve na konferencah

Predvideno je, da bodo po prvih šestih mesecih projekta izbrani ciljni konferenčni dogodki, na katerih bo na kratko predstavljen napredek projektne del. Predstavitev rezultatov projekta na mednarodnih in nacionalnih konferencah (npr. ECRICE, ESERA, NARST, ICCE, letno srečanje SCS, NAK ...).

#### Mejniki (M) in rezultati (R):

- M9 (M36): Diseminacija rezultatov raziskav.
- R8(M01): Delujoča spletna stran, račun na npr. X, LinkedInu in Facebooku.
- R9(M12/24/36): Objavljeno letno glasilo.
- R10(M15/25/35): Nacionalne in mednarodne predstavitve na raziskovalnih in strokovnih konferencah.
- R11(M29/36): Objavljeni članki v raziskovalnih revijah.

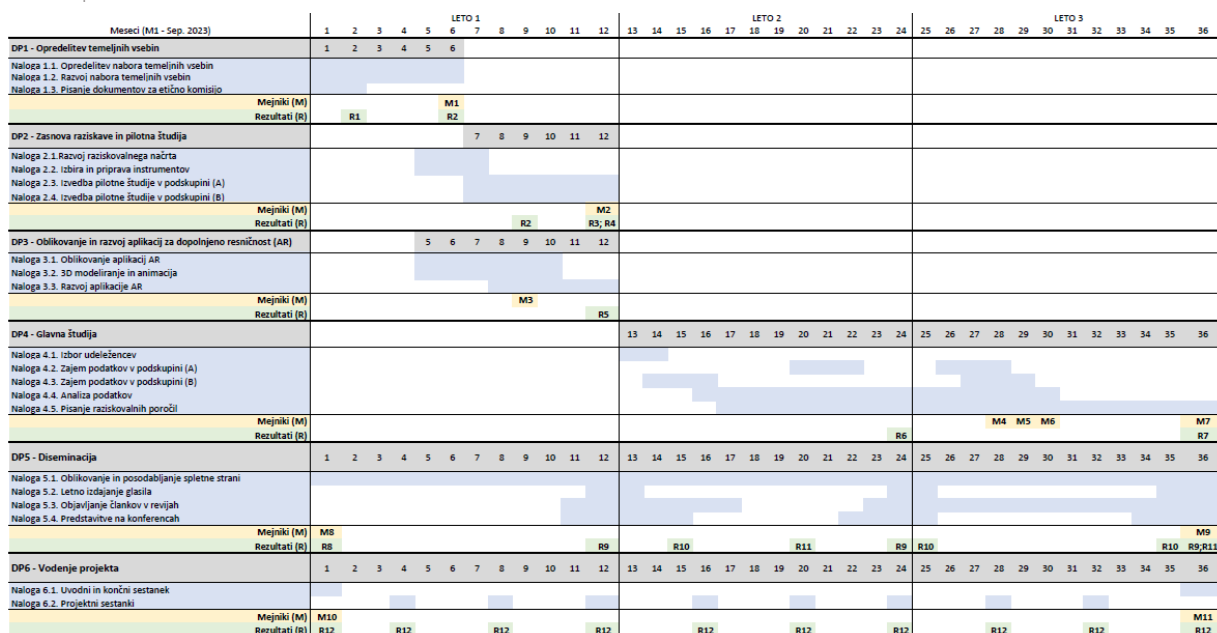
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                         |                               |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----|
| <b>Številka delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 6                       | <b>Vodja delovnega paketa</b> | PEF |
| <b>Naslov delovnega paketa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Vodenje projekta</b> |                               |     |
| <b>Načrtovane ure ARRS na leto</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 133                     |                               |     |
| <b>Začetni mesec</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | M01                     | <b>Konec meseca</b>           | M36 |
| <b>Cilji</b><br>- organiziranje sestankov projektne skupine (C12).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |                               |     |
| <b>Opis dela</b><br><b>Naloga 6.1. Uvodni in končni sestanek</b><br>Na uvodnem sestanku, ki je predviden v prvem mesecu projekta, bodo določene splošne naloge, ki jih mora raziskovalna skupina opraviti v 36 mesecih projekta. Člani raziskovalne skupine se bodo osebno srečali in predstavili svoja strokovna področja. Nato bo pripravljen podroben načrt projektnih nalog (možna sprememba Ganttovega diagrama ter ciljev in nalog DP). Na končnem sestanku bo opravljena evalvacija dosežkov projekta. Pripravljen bo načrt dodatnih objav rezultatov ter smenic nadaljnega raziskovanja na tem področju.                                                                                                                                                             |                         |                               |     |
| <b>Naloga 6.2. Projektni sestanki</b><br>V okviru te naloge se bodo člani raziskovalne skupine projektov srečevali na fizičnih sestankih, ki bodo potekali vsakih šest mesecev na izmeničnih lokacijah (UL PEF in UP FAMNIT), kjer bodo razpravljali o vsebini, napredku in razširjanju projekta ter prilagajali načrt nalog v posameznih delovnih skupinah v skladu z Ganttovim diagramom, cilji in nalogami delovnih skupin, spremenjenimi na uvodnem sestanku. V 36 mesecih trajanja projekta bo potekalo stalno vrednotenje rezultatov projekta in spreminjanje projektnega načrta. Projektni sestanki bodo potekali tudi prek spleta vsake tri mesece, da se olajša usklajevanje. Za izmenjavo podatkov in komunikacijo med partnerji se bo uporabljalo spletno orodje. |                         |                               |     |
| <b>Mejniki (M) in rezultati (R):</b><br>- M10(M01): Uvodni sestanek.<br>- M11(M36): Zaključni sestanek projektne skupine.<br>- R12(M4/8/12/16/20/24/28/32/26): Zapisniki sestankov.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                         |                               |     |

#### Upravljanje projekta: podroben načrt uresničevanja in časovna razporeditev

Predlagani projekt je skupno delo Pedagoške fakultete (PEF) Univerze v Ljubljani in Fakultete za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije (FAMNIT) Univerze na Primorskem. Projekt bo vodila štiričlanska komisija, in sicer dva člana s Pedagoške fakultete Univerze v Ljubljani in po en vodilni član raziskovalne skupine z vsake sodelujoče institucije (Iztok Devetak, vodja projekta, in Vesna Ferk Savec, Pedagoška fakulteta Univerze v Ljubljani, Klen Čopič Pucihar, Oddelek za informacijske znanosti in tehnologije, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije, Univerza na Primorskem) in član projektne skupine, ki bo poleg raziskovalnih aktivnosti skrbel za administrativne zahteve izvajalcev in bo koordiniral aktivnosti med potekom projekta (Luka Vinko, Pedagoška fakulteta, Univerza v Ljubljani). Morebitne težave bomo reševali z dogovorjenim konsenzom. Glede na dolgoletno in zgledno sodelovanje med člani projektne skupine velikih težav ne pričakujemo.

Delovni načrt predstavljamo s podrobnim opisom delovnih paketov (glej razdelek 23.3) in Ganttovim diagramom (slika 2). V delovnem načrtu so opisane načrtovane dejavnosti, njihovi rezultati in mejniki. Gre za predlogo, ki je bila zasnovana za potrebe spremljanja in poročanja o projektu.

Vodenje projekta bo temeljilo na fizičnih srečanjih (če bo mogoče) med projektnimi partnerji in videokonferenčnih srečanjih.



Slika 2: Ganttov diagram delovnega načrta z mejniki (M) in rezultati (R) (glej opise WP).

Oba partnerja v tem projektu bosta varovala pravice intelektualne lastnine raziskovalne skupine v skladu z nacionalnimi in mednarodnimi smernicami (European IP Helpdesk). Dogovorjeno je, da bo lastništvo intelektualne lastnine, ki je rezultat skupnih raziskav v okviru predlaganega projekta, dodeljeno partnerjema, ki sta prispevala k njenemu nastanku, in bo razdeljeno v skladu z deležem njunega prispevka. Če ni mogoče določiti prispevka vsakega partnerja k skupnim rezultatom, so ti v skupni lasti partnerjev, ki so prispevali, z enakimi deleži lastništva. Partnerji se strinjajo, da bodo za vsak skupno ustvarjen rezultat sklenili ločen sporazum, da bi določili razdelitev lastništva in pogoje izvajanja, zaščite, delitve stroškov in uporabe takšnih rezultatov, vse v skladu s cilji financiranja raziskovalnega programa.

## Zaključek

Prva glavna faza razvoja modula in AR aplikacij je bila zaključena. Sedaj poteka pilotna študija in glavna raziskava.

## Reference

- Abd Majid, N. A., & Abd Majid, N. (2018). Augmented reality to promote guided discovery learning for STEM learning. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 8(4-2), 1494-1500.
- Abdinejad, M., Talaie, B., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Student perceptions using augmented reality and 3D visualization technologies in chemistry education. *Journal of Science Education and Technology*, 30(1), 87-96. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>
- Abraham, M. R., Craolice, M. S., Graves, A. P., Aldhamash, A. H., Kihega, J. G., Gal, J. G. P., & Varghese, V. (1997). The nature and state of general chemistry laboratory courses offered by colleges and universities in the United States. *Journal of Chemical Education*, 74(5), 591-594. DOI: 10.1021/ed074p591
- Al-Balushi, S. M., & Al-Hajri, S. H. (2014). Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 47-58. <https://doi.org/10.1039/C3RP00074E>
- Alhumaidan, H., Lo, K. P. Y., & Selby, A. (2018). Co-designing with children a collaborative augmented reality book based on a primary school textbook. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 15, 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2017.11.005>
- An, J., Poly, L. P., & Holme, T. A. (2020). Usability testing and the development of an augmented reality application for laboratory learning. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 97-105. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00453

- Arvanitis, T. N., Petrou, A., Knight, J. F., Savas, S., Sotiriou, S., Gargalakos, M., & Gialouri, E. (2009). Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities. *Personal and ubiquitous computing*, 13(3), 243-250. <https://doi.org/10.1007/s00779-007-0187-7>
- Behmke, D., Kerven, D., Lutz, R., Paredes, J., Pennington, R., Brannock, E., ... & Stevens, K. (2018). Augmented reality chemistry: Transforming 2-D molecular representations into Interactive 3-D structures. In *Proceedings of the Interdisciplinary STEM Teaching and Learning Conference*, 2(1), 5-11. DOI: 10.20429/stem.2018.020103
- Bruck, L. B., Towns, M., & Bretz, S. L. (2010). Faculty perspectives of undergraduate chemistry laboratory: Goals and obstacles to success. *Journal of Chemical Education*, 87(12), 1416-1424. <https://doi.org/10.1021/ed900002d>
- Cavas, P. (2011). Factors affecting the motivation of Turkish primary students for science learning. *Science education international*, 22(1), 31-42.
- Chen, S. C., Hsiao, M. S., & She, H. C. (2015). The effects of static versus dynamic 3D representations on 10th grade students' atomic orbital mental model construction: Evidence from eye movement behaviors. *Computers in Human Behavior*, 53, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.07.003>
- Cheng, K. H. (2017). Reading an augmented reality book: An exploration of learners' cognitive load, motivation, and attitudes. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(4). <https://doi.org/10.14742/ajet.2820>
- Chiu, M. H., Chou, C. C., Chen, Y. H., Hung, T., Tang, W. T., Hsu, J. W., ... & Tsai, M. K. (2019). Model-based learning about structures and properties of chemical elements and compounds via the use of augmented realities. *Chemistry Teacher International*, 1(1). <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0002>
- Cooper, G., Park, H., Nasr, Z., Thong, L. P., & Johnson, R. (2019). Using virtual reality in the classroom: preservice teachers' perceptions of its use as a teaching and learning tool. *Educational Media International*, 56(1), 1-13. <https://doi.org/10.1080/09523987.2019.1583461>
- Delello, J. A. (2014). Insights from pre-service teachers using science-based augmented reality. *Journal of computers in education*, 1(4), 295-311. <https://doi.org/10.1007/s40692-014-0021-y>
- Devetak, I. (2012). *Zagotavljanje kakovostnega znanja naravoslovja s pomočjo submikroreprezentacij*. University of Ljubljana, Faculty of Education.
- Devetak, I., & Glažar, S. A. (2014). Educational models and differences between groups of 16-year-old students in gender, motivation, and achievements in chemistry. In I. Devetak & S. A. Glažar (Eds.), *Learning with understanding in the chemistry classroom* (pp. 103-126). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4366-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4366-3_6)
- Díaz Noguera, M. D., Toledo Morales, P., & Hervás Gómez, C. (2017). Augmented reality applications attitude scale (ARAAS): Diagnosing the attitudes of future teachers. *The New Educational Review*, 50(4), 215-226.
- Fatemah, A., Rasool, S., & Habib, U. (2020). Interactive 3D visualization of chemical structure diagrams embedded in text to aid spatial learning process of students. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 992-1000. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00690
- Ferk Savec, V., & Mlinarec, K. (in press). Inovativna uporaba IKT v kemijskem izobraževanju glede na okvir digitalnih kompetenc za učitelje kemije. In T. Devjak, & V. Podgornik (Eds.), *Inovativno učenje in poučevanje za kakovostne kariere diplomantov in odlično visoko šolstvo: specialne didaktike v visokošolskem prostoru – 2. del*. University of Ljubljana.
- Ferk Savec, V., Hrast, Š., Devetak, I., & Torkar, G. (2016). Beyond the use of an explanatory key accompanying submicroscopic representations. *Acta Chimica Slovenica*, 63(4), 864-873. <https://doi.org/10.17344/acsi.2016.2835>
- Ferk Savec, V., Sajovic, I., & Wissiak Grm, K. S. (2009). Action research to promote the formation of linkages by chemistry students between the macro, submicro, and symbolic representational levels. In J. K. Gilbert (Ed.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 309-331). Springer, Dordrecht.
- Ferk Savec, V., Vrtačnik, M., & Gilbert, J. K. (2005). Evaluating the educational value of molecular structure representations. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 269-297). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2\\_14](https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_14)

- Ferk, V., Vrtačnik, M., Blejec, A., & Gril, A. (2003). Students' understanding of molecular structure representations. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1227-1245. <https://doi.org/10.1080/0950069022000038231>
- Furió-Más, C., Luisa Calatayud, M., Guisasola, J., & Furió-Gómez, C. (2005). How are the concepts and theories of acid-base reactions presented? Chemistry in textbooks and as presented by teachers. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1337-1358. <https://doi.org/10.1080/09500690500102896>
- Gan, H. S., Tee, N. Y. K., Bin Mamtaz, M. R., Xiao, K., Cheong, B. H. P., Liew, O. W., & Ng, T. W. (2018). Augmented reality experimentation on oxygen gas generation from hydrogen peroxide and bleach reaction. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 46(3), 245-252. <https://doi.org/10.1002/bmb.21117>
- Gkitzia V., Salta K., & Tzougraki C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 5-14. <https://doi.org/10.1039/C1RP90003J>
- Grinshkun, A. V., Perevozchikova, M. S., Razova, E. V., & Khlobystova, I. Y. (2021). Using methods and means of the augmented reality technology when training future teachers of the digital school. *European Journal of Contemporary Education*, 10(2), 358-374.
- Hanafi, A., Elaachak, L., Bouhorma, M., & Bennis, E. K. (2019). Safe laboratory practices & procedures introduced to the students through an augmented reality application. *SCA '19: Proceedings of the 4th International Conference on Smart City Applications*, 1-7. <https://doi.org/10.1145/3368756.3369042>
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School science review*, 71(256), 33-40.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Hornecker, E. (2012). Beyond affordance: tangibles' hybrid nature. In S. N. Spencer (Ed.), *Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction* (pp. 175-182). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2148131.2148168>
- Hrast, Š., & Ferk Savec, V. (2017). Informational value of submicroscopic representations in Slovenian chemistry textbook sets. *Journal of Baltic Science Education*, 16(5), 694-705. <https://www.eursc.eu/BasicTexts/2018-09-D-69-en-1.pdf> (10.2.2022)
- Irwansyah, F. S., Nur Asyiah, E., Maylawati, D. S. A., Farida, I., & Ramdhani, M. A. (2020). The development of augmented reality applications for chemistry learning. In V. Geroimenko (Eds.), *Augmented Reality in Education* (pp. 159-183). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4_9)
- Irwansyah, F. S., Yusuf, Y. M., Farida, I., & Ramdhani, M. A. (2018). Augmented reality (AR) technology on the android operating system in chemistry learning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1), p. 012068.
- Jedrinović, S., Bevčič, M., Rugelj, J., & Ferk Savec, V. (2019). Aktivni pouk in uporaba IKT v procesu učenja in poučevanja. In J. Rugelj, & V. Ferk Savec (Eds.), *Inovativna didaktična uporaba informacijsko komunikacijske tehnologije v študijskem procesu* (pp. 33-51). University of Ljubljana. <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=123308&lang=slv>
- Johnstone, A. H. (1982). "Macro- and microchemistry". *School Science Review*, 64, 377-379.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Jung, E. S., & Reid, N. (2009). Working memory and attitudes. *Research in Science & Technological Education*, 27(2), 205-223. <https://doi.org/10.1080/02635140902853665>
- Jurišević, M., Glažar, S. A., Pučko, C. R., & Devetak, I. (2008). Intrinsic motivation of pre-service primary school teachers for learning chemistry in relation to their academic achievement. *International Journal of Science Education*, 30(1), 87-107. <https://doi.org/10.1080/09500690601148517>
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modelling in chemical education. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-Based Practice* (pp. 47-68). Springer, Dordrecht.
- Kailer Aw, J., Boellaard, K.C., Kiang Tan, T., Yap, J., Loh, J.P., Colasson, B., ... & Fung, F. M. (2020). Interacting with three-dimensional molecular structures using an augmented reality mobile app. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3877-3881. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00387>
- Key Competences for Lifelong Learning in the European Schools (2018). Retrieved from:

- Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development*, 56(2), 203-228. <https://doi.org/10.1007/s11423-007-9037-6>
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121-145). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2\\_8](https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8)
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105-143. [https://doi.org/10.1207/s15327809jls0902\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327809jls0902_1)
- Lewis, S. E., & Lewis, J. E. (2007). Predicting at-risk students in general chemistry: comparing formal thought to a general achievement measure. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(1), 32-51. <https://doi.org/10.1039/B6RP90018F>
- Logar, A., & Ferk Savec, V. (2019). Razvijanje kompetenc bodočih učiteljev za didaktično uporabo IKT pri pouku kemije. In V. Ferk Savec, & J. Rugelj (Eds.), *Izzivi in priložnosti uporabe informacijsko komunikacijske tehnologije v pedagoškem procesu na področju naravoslovja, tehnologije in matematike* (pp.27-44). University of Ljubljana.
- Macariu, C., Iftene, A., & Gîfu, D. (2020). Learn chemistry with augmented reality. *Procedia Computer Science*, 176, 2133-2142. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.250>
- Martín-Gutiérrez, J., Saorín, J. L., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D. C., & Ortega, M. (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1), 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2009.11.003>
- Mazzuco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E., & Gomes, R. S. (2022). A systematic review of augmented reality in chemistry education. *Review of Education*, 10(1), e3325. DOI: 10.1002/rev3.3325
- Nobel Assembly at Karolinska Institutet. (2019). *Press release: The Nobel prize in physiology or medicine 2019*. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2019/press-release/>
- Oberdörfer, S., Birnstiel, S., Latoschik, M. E., & Grafe, S. (2021). Mutual benefits: Interdisciplinary education of pre-service teachers and HCI students in VR/AR learning environment design. *Frontiers in Education*, 6, 233-250. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.693012>
- Ovens, M., Ellyard, M., Hawkins, J., & Spagnoli, D. (2020). Developing an augmented reality application in an undergraduate DNA precipitation experiment to link macroscopic and submicroscopic levels of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97, 3882-3886. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00481>
- Pavlin, J., Glažar, S. A., Slapničar, M., & Devetak, I. (2019). The impact of students' educational background, interest in learning, formal reasoning and visualisation abilities on gas context-based exercises achievements with submicro-animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 633-649. DOI: 10.1039/C8RP00189H
- Potočnik, R., & Devetak, I. (2021). Pre-service teachers' conceptions about materials of fine art paintings. *Pedagoška obzorja: časopis za didaktiko in metodiko*, 36(2), 128-141.
- Potočnik, R., Košir, T., & Devetak, I. (2022). Slovenian primary school teachers' opinion on interdisciplinary approach between fine art and science education. *European Journal of Educational Research*, 11(1), 435-443. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.1.435>
- Prieto, L., Wen, Y., Caballero Díaz, D. C., & Dillenbourg, P. (2014). Review of augmented paper systems in education: An orchestration perspective. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 169-185. <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.17.4.169>
- Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Y. Punie (Ed.). Publications Office of the European Union. doi:10.2760/159770
- Reid, N. (2014). The learning of chemistry: the key role of working memory. In I. Devetak, & S. A. Glažar (Eds.), *Learning with understanding in the chemistry classroom* (pp. 77-101). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4366-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4366-3_5)
- Riding, R. J., & Sadler-Smith, E. (1992) Type of instructional material, cognitive style and learning performance. *Educational Studies*, 18, 323-340.

- Rogério da Silva, B., Hercílio Zuchi, J., Kremer Vicente, L., Ronald Perin Rauta, L. R., Bizzotto Nunes, M., Augusto, V., & Beck Jr., W. (2019). AR lab: Augmented reality app for chemistry education. In J. Sánchez (Ed.), *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, 15 (p. 71-77).
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self - determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68-78. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
- Saidin, N. F., Abd Halim, N. D., & Yahaya, N. (2019). Framework for developing a mobile augmented reality for learning chemical bonds. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 13(7), 54-68. <https://doi.org/10.3991/ijim.v13i07.10750>
- Sanders, M. and S. McCormick, E. J. (1987). *Human Factors and Engineering and Design*. New York: McGrawHill.
- Santos, M. E. C., Chen, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Miyazaki, J., & Kato, H. (2013). Augmented reality learning experiences: Survey of prototype design and evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(1), 38-56. doi: 10.1109/TLT.2013.37
- Schmid, J. R., Ernst, M. J., & Thiele, G. (2020). Structural Chemistry 2.0: Combining Augmented Reality and 3D Online Models. *Journal of Chemical Education*, 97(12), 4515-4519. DOI: 10.1021/acs.jchemed.0c00823
- Squire, K. D., & Jan, M. (2007). Mad city mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers. *Journal of Science and Educational Technology*, 16(1), 5-29. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9037-z>
- Stieff, M., Scopelitis, S., Lira, M. E., & Desutter, D. (2016). Improving representational competence with concrete models. *Science Education*, 100(2), 344-363. <https://doi.org/10.1002/sce.21203>
- Stipek, D. (1998). *Motivation to Learn: From Theory to Practice*. Allyn and Bacon.
- Stull, A. T., Gainer, M., Padalkar, S., & Hegarty, M. (2016). Promoting representational competence with molecular models in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 994-1001. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00194>
- Stull, A. T., Hegarty, M., Dixon, B., & Stieff, M. (2012). Representational translation with concrete models in organic chemistry. *Cognition and Instruction*, 30(4), 404-434. DOI: 10.1080/07370008.2012.719956
- Su, C., Xu, W., & Feng-Kuang, C. (2014). A case study of augmented reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 37, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>
- Sumida, M., & Ohashi, A. (2015). Chemistry education for gifted learners. In J. Garcia-Martinez, & E. Serrano-Torregrosa (Eds.), *Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends* (pp. 469-487). Weinheim: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527679300.ch19>
- Štemberger, T., & Konrad, S. Č. (2021). Attitudes Towards using Digital Technologies in Education as an Important Factor in Developing Digital Competence: The Case of Slovenian Student Teachers. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 16(14), 83-98.
- Taber, K. S. (2014). Constructing active learning in chemistry: Concepts, cognition and conceptions. In I. Devetak & S. A. Glažar (Eds.), *Learning with understanding in the chemistry classroom* (pp. 5-23). Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4366-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4366-3_1)
- Tee, N. Y. K., Gan, H. S., Li, J., Cheong, B. H. P., Tan, H. Y., Liew, O. W., & Ng, T. W. (2018). Developing and demonstrating an augmented reality colorimetric titration tool. *Journal of Chemical Education*, 95(3), 393-399. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00618>
- Tobar Muñoz, H. F. (2017). *Supporting technology for augmented reality game-based learning* [Doctoral Dissertation, University of Girona, Girona, Spain]. <http://hdl.handle.net/10803/132xxx>
- Tsaparlis, G. (2009). Learning at the macro level: The role of practical work. In J. K. Gilbert, & D. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education, models and modeling in science education* (pp. 109-136). Springer.
- Uygur, M., Yelken, T. Y., & Cenk, A. K. A. Y. (2018). Analyzing the views of pre-service teachers on the use of augmented reality applications in education. *European Journal of Educational Research*, 7(4), 849-860. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.7.4.849>
- Valanides, N. C. (1996). Formal reasoning and science teaching. *School Science and Mathematics*, 96(2), 99-107. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1996.tb15818.x>

- Weng, C., Rathinasabapathi, A., Weng, A., & Zagita, C. (2019). Mixed reality in science education as a learning support: a revitalized science book. *Journal of Educational Computing Research*, 57(3), 777-807. <https://doi.org/10.1177/0735633118757017>
- Winberg, T. M., & Berg, C. A. R. (2007). Students' cognitive focus during a chemistry laboratory exercise: Effects of a computer-simulated prelab. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(8), 1108-1133. <https://doi.org/10.1002/tea.20217>
- Wissiak Grm, K. S., & Glažar, S. A. (2002). Pomen eksperimentalnega dela pri učenju in poučevanju kemije v osnovni šoli [The importance of experimental work in learning and teaching chemistry in primary school]. *Sodobna pedagogika*, 53(2), 96-106.
- Woźniak, M., Lewczuk, A., Adamkiewicz, K., Józiewicz, J., Jaworski, T., & Rowińska, Z. (2020). ARchemist: Towards in-situ experimental guidance using augmented reality technology. *MoMM '20: Proceedings of the 18th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia*, 58-63. <https://doi.org/10.1145/3428690.3429168>
- Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>

## PRIOGA 1

RIBIČ, Luka, DEVETAK, Iztok, POTOČNIK, Robert. Pre-service primary school teachers' understanding of biogeochemical cycles of elements. *Education sciences*. 2025, vol. 15, issue 1 (110), 1 spletni vir (1 datoteka pdf (19 str.)), ISSN 2227-7102. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/1/110>, DOI: [10.3390/educsci15010110](https://doi.org/10.3390/educsci15010110). [COBISS.SI-ID [223609859](https://cobiss.si/id/223609859)]



Article

# Pre-Service Primary School Teachers' Understanding of Biogeochemical Cycles of Elements

Luka Ribič <sup>1,\*</sup>, Iztok Devetak <sup>1</sup> and Robert Potočnik <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Biology, Chemistry and Home Economics, Faculty of Education, University of Ljubljana, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; iztok.devetak@pef.uni-lj.si

<sup>2</sup> Department of Visual Arts Education, Faculty of Education, University of Ljubljana, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; robert.potocnik@pef.uni-lj.si

\* Correspondence: luka.ribic@pef.uni-lj.si

**Abstract:** Understanding environmental issues such as biogeochemical cycles of substances on a local and global level is important in order to be able to act responsibly and sustainably. Inadequate teacher training has proven to be the main reason why environmental education has failed to reach its full potential. The aim of the present study is therefore to investigate students' level of knowledge about biogeochemical cycles in relation to their secondary school achievements in chemistry, biology, and physics, their individual interest for learning these topics, and their self-esteem regarding cycles of substances on Earth. A total of 145 undergraduate pre-service primary school teachers attending their first or third year of an undergraduate teacher education program at the Faculty of Education, University of Ljubljana, in 2024 participated in this quantitative study, which uses the causal non-experimental method of pedagogical research. The data were collected using a three-tier achievement test and a paper-pencil questionnaire, which were both developed by the researchers. The results show that pre-service primary school teachers possess roughly adequate knowledge of the environmental topic of biogeochemical cycles. Their individual interest and self-esteem related to learning biogeochemical cycles were found to be significant predictors of their performance in an achievement test on biogeochemical cycles. Their final grade in biology may also be a significant predictor of their knowledge of this topic. Finally, pre-service primary school teachers' misconceptions related to the topic of biogeochemical cycles were determined. Although the number of their misconceptions on this topic is low, teachers' environmental education nevertheless needs to be improved in order to optimize their work in the classroom and help environmental education reach its full potential.

**Keywords:** sustainable development goals; environmental education; misconceptions; pre-service teachers



Academic Editor: Myint Swe Khine

Received: 14 November 2024

Revised: 23 December 2024

Accepted: 4 January 2025

Published: 20 January 2025

**Citation:** Ribič, L., Devetak, I., & Potočnik, R. (2025). Pre-Service Primary School Teachers' Understanding of Biogeochemical Cycles of Elements. *Education Sciences*, 15(1), 110. <https://doi.org/10.3390/educsci15010110>

**Copyright:** © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Teachers play an important role in educating younger generations on environmental literacy (Brundtland, 1987; Potočnik & Devetak, 2018), as they can enhance students' interest in science learning (Hobbs & Behenna, 2024; Potočnik, 2020). Inadequate teacher training has been identified as the main reason for the weakness of environmental education (Knapp, 2010). Environmental education plays an important role in equipping younger generations with better environmental literacy by educating them about environmental topics such as biogeochemical cycles (BGCCs), thus facilitating more rapid progress toward sustainable development (Varela-Candamino et al., 2018). One of the multidisciplinary

## PRILOGA 2

RIBIČ, Luka, DEVETAK, Iztok. Environmental education challenges: understanding bio-geo-chemical cycles among Slovenian pre-service teachers. V: PAROLA, A. Jorge (ur.), RIBAU, Isabel (ur.). *ECRICE 2024: book of abstracts*. [Caparica]: [NOVA School of Science and Technology, Campus da Caparica], 2024. Str. 122-123.

<https://bitok.datastore.pt/scimeet-prod/cms/ecrice2024.events.chemistry.pt/3d447815-124e-4367-9504-fac8eb022f23/BookECRICE2024.pdf>. [COBISS.SI-ID [207381763](#)]

Single Oral Presentation

4. Innovative Teaching and Pedagogies for a Sustainable World

### OP21 – Environmental Education Challenges: Understanding Bio-Geo-Chemical Cycles Among Slovenian Pre-Service Teachers

Luka Ribič <sup>a)</sup>, Iztok Devetak\* <sup>a)</sup>

a) University of Ljubljana, Faculty of Education, Kardeljeva pl. 16, Ljubljana, Slovenia

\*Corresponding author: iztok.devetak@pef.uni-lj.si

**Keywords:** environmental chemistry, bio-geo-chemical cycles of substances, pre-service primary school teachers

Bio-geo-chemical cycles of substances are fundamental to understanding the interactions and influences between living and non-living elements of ecosystems (Schulze et al., 2001). Environmental education plays an important role in educating young people about environmental topics such as bio-geo-chemical cycles (Johnson, 2020), that are also reflected in the Sustainable Development Goals (Sustainable Development Goals, n. d.). One of the multidisciplinary sciences that form the basis for understanding the molecular aspects of the ecosystem is environmental chemistry (De, 2003). Teachers play an important role in educating the younger generations on environmental literacy (Brundtland, 1987). However, Yilmaz Yendi (2019) found a lack of knowledge among pre-service teachers on the topic of bio-geo-chemical cycles. In addition, many misconceptions about this topic were identified. In Slovenian school system this topic is introduced to students, in the subject of natural sciences and technology, by the primary school teachers (Ministry of school, 2023). Therefore, it is important that teachers have sufficient knowledge about bio-geo-chemical cycles to adequately teach the younger generations about these processes (Brundtland, 1987).

The aim of this study is to determine the knowledge of Slovenian pre-service primary school teachers about bio-geo-chemical cycles. It was also investigated whether there are statistically significant differences between first year pre-service teachers with different level of individual interest, self-esteem and different final grades in biology, chemistry and physics and their level of knowledge about bio-geo-chemical cycles. Furthermore, the misconceptions of pre-service primary school teachers were investigated. To answer these questions, two paper-pencil instruments were used: 1) a three-tier achievement test for detecting misconceptions about bio-geo-chemical cycles and 2) a paper questionnaire on individual interests and self-esteem. Students also provided information about their final grades in chemistry, physics, and biology in high school.

Results show that pre-service classroom teachers possess roughly adequate knowledge about bio-geo-chemical cycles. There are statistically significant differences between pre-service teachers with different levels of individual interest and self-esteem and their performance on bio-geo-chemical cycles achievement test. Pre-service teachers also have misconceptions about this topic, but the number of misconceptions is low. The

## PRILOGA 3

RIBIČ, Luka, DEVETAK, Iztok. Augmented reality in developing students' understanding of chemistry triplet: a systematic literature review. *Chemistry teacher international: best practices in chemistry education*. 2024, vol. 7, issue, 1 spletni vir (1 datoteka pdf (16 str.)). ISSN 2569-3263. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/cti-2024-0060/html>, DOI: [10.1515/cti-2024-0060](https://doi.org/10.1515/cti-2024-0060). [COBISS.SI-ID [218972675](https://cobiss.si/id/218972675)]

DE GRUYTER

Chemistry Teacher International 2024; aop



### Review Article

Luka Ribič\* and Iztok Devetak

## Augmented reality in developing students' understanding of chemistry triplet: a systematic literature review

<https://doi.org/10.1515/cti-2024-0060>

Received July 4, 2024; accepted November 19, 2024; published online December 9, 2024

**Abstract:** Augmented Reality (AR) is increasingly finding its way in chemistry education, and it is becoming an important teaching tool to help students understand complex chemical phenomena. Forty-six papers from two databases published between 2018 and 2023 on the implementation of AR in chemistry education with empirical quantitative research design, were analysed. The results show that learning effectiveness is the main objective of AR studies. Technology acceptance questionnaires and achievement tests were the most popular data collection instruments. AR was recognised as a useful and easy to use tool that helps students to improve their learning. However, no study has yet been conducted on effectiveness of AR on students' understanding of the chemical triplet. Also, some challenges were identified related to technical issues with the AR app and teachers' resistance to using this technology. Further research is needed to test this technology in different learning settings and with different types of learners.

**Keywords:** augmented reality; chemistry triplet; systematic review; chemistry education

### 1 Introduction

Chemistry is a subject that students usually find very complex. This is due to the triple nature of chemical phenomena (Johnstone, 1991; Sjöström et al., 2020), and teaching theoretical concepts has always been difficult for educators (Wilsson & Bernie, 1999). Therefore, chemistry is a subject that requires learners to bridge different levels of chemical phenomena to explain them (Gilbert & Treagust, 2009; Sjöström et al., 2020). Chemistry should be taught with laboratory work that enables students to view only macroscopic level of chemical phenomena (Gurung & Gurung, 2023). One possible way to overcome this problem is through the use of technology (Winkelmann et al., 2017), that can strengthen students' motivation and self-directed and collaborative learning (Bosco et al., 2019). De Jong et al. (2013) and Kusumaningdyah et al. (2023) suggest that the virtual environment and multimedia models can provide important information and support the association of unobservable processes with symbolic representations and can thus contribute to a better chemistry understanding (Mei-Hung et al., 2018).

This systematic review examines the use of augmented reality (AR) in chemistry education and its impact on student learning, knowledge acquisition, attitudes towards technology, etc. The educational value of AR has already been confirmed, but this technology may also have its limitations. It should be noted that the use of AR does not necessarily lead to better outcomes for all students in all educational settings. From a pedagogical point of view, it is not always obvious how to integrate AR technology and educational content. Therefore, in this paper

\*Corresponding author: Luka Ribič, Faculty of Education, University of Ljubljana, Kardeljeva ploščad 16, 1000, Ljubljana, Slovenia.

E-mail: [Luka.ribic@pef.uni-lj.si](mailto:Luka.ribic@pef.uni-lj.si), <https://orcid.org/0009-0002-2207-7853>

Iztok Devetak, Faculty of Education, University of Ljubljana, Kardeljeva ploščad 16, 1000, Ljubljana, Slovenia. <https://orcid.org/0000-0003-4719-8424>

Open Access. © 2024 the author(s), published by De Gruyter. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

## PRILOGA 4

SLAPNIČAR, Miha, RIBIČ, Luka, DEVETAK, Iztok. Using eye-movements to explain processing triple level of chemical information: the systematic review. *Acta chimica slovenica*. [Spletna izd.]. 2025, vol. 72, no. 1, str. 1–14, ISSN 1580-3155. <https://acsi-journal.eu/index.php/ACSi/article/view/9049>, DOI: [10.17344/acsi.2024.9049](https://doi.org/10.17344/acsi.2024.9049). [COBISS.SI-ID [229856003](https://cobiss.si/id/229856003)]

DOI: 10.17344/acsi.2024.9049

*Acta Chim. Slov.* 2025, 72, 1–14



1

Review

# Using Eye-Movements to Explain Processing Triple Level of Chemical Information: Systematic Review

Miha Slapničar<sup>1,2,\*</sup> , Luka Ribič<sup>1</sup> and Iztok Devetak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> University of Ljubljana, Faculty of Education, Kardeljeva ploščad 16, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup> BEC, Cesta v Mesni log 47, 1000 Ljubljana

\* Corresponding author: E-mail: [miha.slapnicar@pef.uni-lj.si](mailto:miha.slapnicar@pef.uni-lj.si)

Received: 11-08-2024

## Abstract

The focus of this systematic literature review was to examine eye-tracking studies in the chemistry classroom and to evaluate the usefulness of eye-tracking in studying students' learning of complex chemical concepts. The reviewed studies primarily used small samples of students, with undergraduate students being the most studied population, and measured variables such as eye movements, fixation time, pupil dilation, and others. The results show that higher performing students have shorter fixation time and learn better with models, with prior knowledge being an important factor. However, both students rely mainly on the symbolic level of presentations with better performing students being more successful at giving explanations. Problems with the complexity of data analysis were reported in the studies.

**Keywords:** Chemical education, eye-tracking, cognitive processes, visualisation, triple nature of chemical concepts

## 1. Introduction

The education sector is one of the priorities of most member states of the European Union.<sup>1</sup> In Slovenia, too, the central national interest is to acquire quality knowledge, in which a quality educational process plays a key role.<sup>2</sup> Learning is a lifelong active social process.<sup>3</sup> Competences also include the understanding of scientific (including chemical) concepts that enable individuals in today's society to develop effective learning strategies and consequently to successfully solve authentic scientific (including chemical) problems.<sup>2</sup> However, content of chemistry education is often abstract for learners in all educational settings and therefore difficult to understand.<sup>4–6</sup> One of the challenges of modern chemistry education is to focus on processes involved in understanding scientific (including chemical) phenomena and their application in solving authentic problems. These processes can be studied through reporting of problem solving or by observing their behaviour during problem solving. Physiological indicators of the cognitive process of individual problem-solving strategies include skin conductance, heart rate, blood pressure, brain waves, blood flow to the brain (monitored by fMRI) and others, as well as eye movements, such as saccades, fixations and pupil size. These eye movements can be measured with an eye-tracking device. These movements play a

key role in the study of visual attention and the processing of information, and thus the learning process.<sup>7</sup> Research results show that there are important links between the cognitive of learning (including chemical learning) and eye movements.<sup>8,9</sup>

### 1.1. Why is Chemistry Difficult to Learn?

The complexity of teaching and learning chemical concepts can be traced back to their triple nature. Chemical concepts can be taught through experimental work or observation of phenomena – i.e. at the macroscopic level. This level represents the actual state of a chemical process that can be observed and perceived with the senses. At the second level, observations can be explained with theories based on atomic, molecular or ionic – i.e. submicroscopic particle levels. Both levels are represented by the symbolic level, for which it is essential to transform the first two levels into appropriate symbols with a specific meaning.<sup>5,10–12</sup> All three levels of the chemical concept (macroscopic, submicroscopic and symbolic) were thus linked in a so-called triangle of the triple nature of a chemical concept.

It is well known that students have difficulty distinguishing between the description and interpretation of macroscopic phenomena at the submicroscopic level. The

## PRILOGA 5

Modul laboratorijskih aktivnosti kroženja dušika.



Vaša šifra: začetnica vašega imena \_\_\_\_ začetnica imena mame: \_\_\_\_ hišna številka: \_\_\_\_ številka dneva rojstva: \_\_\_\_

# GRADIVO ZA EKSPERIMENTALNO DELO

Bio-geo-kemični cikel dušika

**PROJEKT ARIS J5-50155**

Dopolnjena resničnost za doseganje boljšega razumevanja trojne narave kemijskih pojmov  
nosilec prof. dr. Iztok Devetak

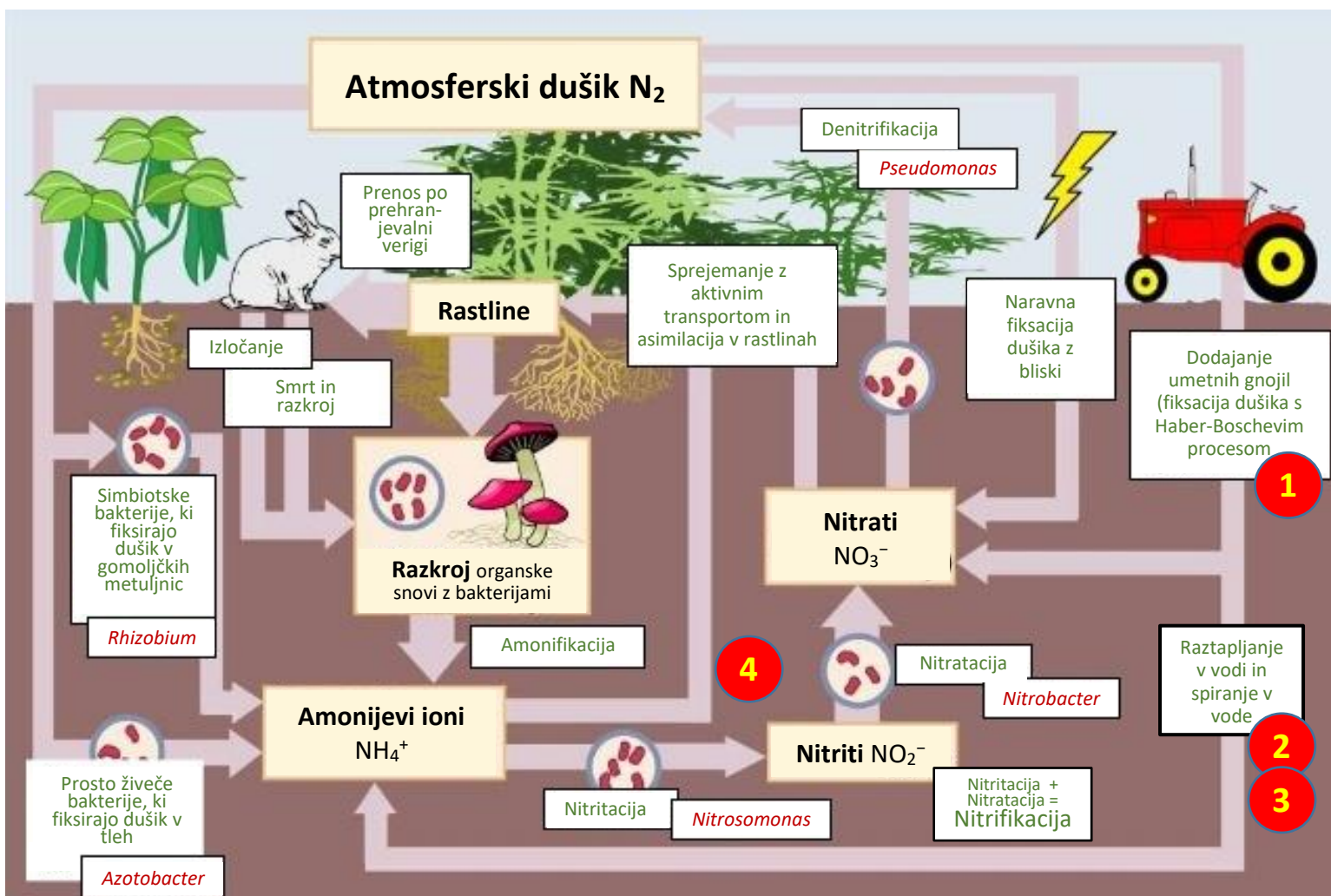
Dr. Iztok Devetak, dr. Miha Slapničar, Luka Vinko in Luka Ribič

## Zakaj je dušik v naravi pomemben?

Dušik in njegove spojine so v naravi pomembne za rast rastlin. Rastline pa so pomemben vir hrane za živali in ljudi. Z naraščanjem števila prebivalcev na Zemlji se je povečala tudi potreba po hrani. Dušik v naravi kroži in tvori različne spojine, v katerih ima dušikov atom različna oksidacijska števila.

Preučite shemo kroženja dušika, ki prikazuje:

- proces fiksacije atmosferskega dušika  $N_2$ ,
- proces amonifikacije in nitrifikacije,
- proces denitrifikacije,
- prehod dušikovih spojin po prehranjevalni verigi in
- kje v procesu se nahaja »anorganski« in kje »organski dušik« (tj. dušik, vezan v aminokislinah).



Kolikšno je trenutno število prebivalcev na Zemlji? Pomagajte si z virom na povezavi pod QR kodo.



Kolikšno je bilo število prebivalcev na Zemlji v letih 1961, 2001 in 2021? Pomagajte si z virom na povezavi pod QR kodo.



Pojasnite trend porabe umetnih ali mineralnih gnojil v Sloveniji. Pomagajte si z virom na povezavi pod QR kodo.



Pojasnite trend porabe umetnih ali mineralnih gnojil na Zemlji. Pomagajte si z virom na povezavi pod QR kodo.



**Fertilizers by Nutrient**

DOWNLOAD DATA VISUALIZE DATA METADATA

**REGIONS** SPECIAL GROUPS M49

Q Filter results e.g. afghanistan

☒ World + (Total)

☐ World + (List)

☐ Africa + (Total)

☐ Africa + (List)

☐ Eastern Africa + (Total)

☐ Eastern Africa + (List)

Select All Clear All

World + (Total) x

**ELEMENTS**

Q Filter results e.g. production quantity

☐ Import quantity

☐ Export quantity

☐ Agricultural Use

☐ Use per area of cropland

☒ Use per capita

☐ Use per value of agricultural production

Select All Clear All

Use per capita x

**ITEMS**

Q Filter results e.g. nutrient nitrogen n (total)

☒ Nutrient nitrogen N (total)

☒ Nutrient phosphate P2O5 (total)

☒ Nutrient potash K2O (total)

**YEARS**

Q Filter results e.g. 2022

☐ 2022

☐ 2021

☐ 2020

☐ 2019

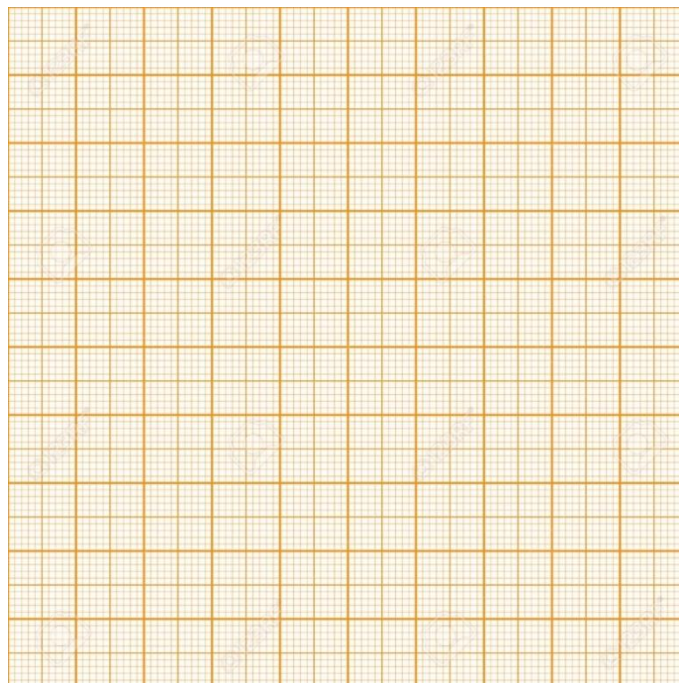
☐ 2018

☐ 2017

Izberite, kar je označeno s kljukico, pri letih 1961, 2001 in 2021 ter pritisnite gumb »Show data«.

Pridobljene podatke uredite v preglednico.

Iz pridobljenih podatkov skicirajte histogram porabe umetnih gnojil na prebivalca na Zemlji na leto.



Poimenujte histogram:

Proizvodnja amonijaka za umetna gnojila je zelo energetska intenzivna. Na globalni ravni za proizvodnjo umetnih gnojil porabimo približno 1,2 % svetovne energije, pri čemer proizvodnja amonijaka predstavlja približno 87 % te energije. To pomeni, da za proizvodnjo amonijaka letno porabimo okoli 8,6 EJ (Eksa Joule) energije.

Koliko J je 1 EJ?

Leta 2022 je bila globalna proizvodnja umetnih gnojil približno 207,7 milijonov ton. Od tega je bilo 118,1 milijonov ton dušikovih gnojil, ki so večinoma narejena iz amonijaka.

Iz kje in kako pridobijo dušik in vodik za proizvodnjo umetnih gnojil? Poiščite podatke v viru na povezavi s QR kodo.



Vodik večinoma (90 %) pridobivajo s parno preobrazbo (t.i. parni reforming) zemeljskega plina, v katerem je velika količina metana  $\text{CH}_4$ .

Poiščite podatke v viru na povezavi s QR kodo povzemite podatke o energijskih zahtevah procesa, zapišite enačbe kemijskih reakcij in presodite o okoljskih vplivih tega procesa.



**Izvedite štiri poskuse in si dogajanje na ravni delcev prikažite z uporabo očal za obogateno resničnost oz. animacij na tabličnem računalniku.**

**1**

### Spoznajte Haber-Boschev proces sinteze amonijaka

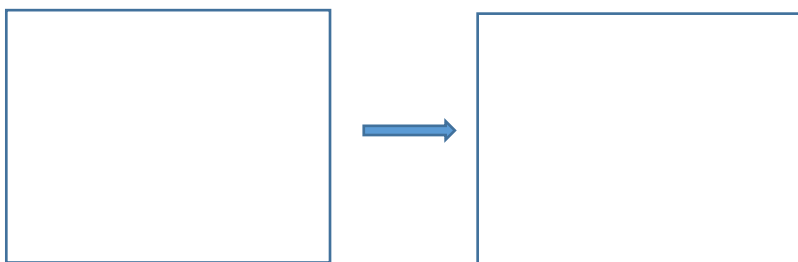
#### Izvedite poskus.

1. V isto brizgo posesajte pripravljenih 10 mL dušika in 30 mL vodika.
2. Na konec cevke z elastiko pritrdite rdeč, z vodo omočen, lakmusov papir.
3. Z oksidativnim plamenom gorilnika močno segrejte katalizator v cevki.
4. V cevko počasi vodite zmes plinov iz brizge.
5. Prvo in četrto stopnjo poskusa trikrat ponovite.

| Opažanja | Sklepi |
|----------|--------|
|          |        |

Preučite potek kemijske reakcije z uporabo očal za obogateno resničnost. Opišite, kako poteka reakcija.

Skicirajte začetno in končno stanje na ravni delcev med potekom kemijske reakcije. V skici označite vse pomembne elemente (npr. legendo delcev z njihovimi imeni in simbolnimi zapisi).



Na osnovi skice zgoraj izpostavite tiste delce, ki v kemijski reakciji sodelujejo in zapišite enačbo kemijske reakcije. Uporabite skice delcev.

Na osnovi zgornje enačbe kemijske reakcije z delci zapišite pravo kemijsko enačbo, ki ste jo izvedli s poskusom. Označite tudi agregatna stanja snovi.

2

## Spoznajte topnost amonijaka v vodi

Preden izvedete poskus, preučite topnost amonijaka v vodi. Pomagajte si z virom na povezavi s QR kodo.



Kolikšna je topnost amonijaka pri temperaturi vode, ki jo uporabljate pri poskusu?

Temperatura vode (izmerite z elektronskim termometrom): \_\_\_\_\_

Topnost amonijaka v vodi pri tej temperaturi: \_\_\_\_\_

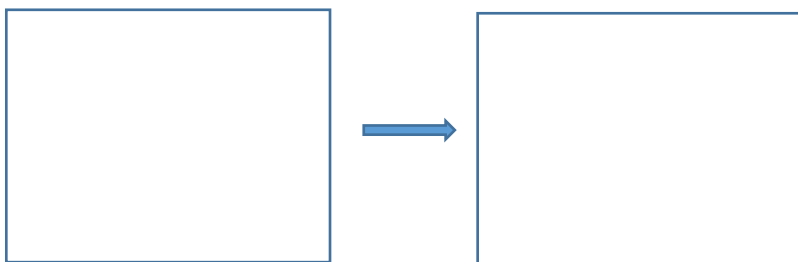
### Izvedite poskus.

1. V bučki je že plinasti amonijak.
2. Potopite cevko bučke v mrzlo vodo z dodanim izvlečkom iz rdečega zelja (zmes antocijanidinov – vijolična barvila v listih rastlin) in počakajte nekaj trenutkov.
3. Zapišite opažanja in sklepe.

| Opažanja             | Sklepi               |
|----------------------|----------------------|
| <br><br><br><br><br> | <br><br><br><br><br> |

Preučite potek kemijske reakcije z uporabo očal za obogateno resničnost. Opišite, kako poteka reakcija.

Skicirajte začetno in končno stanje na ravni delcev med potekom kemijske reakcije. V skici označite vse pomembne elemente (npr. legendo delcev z njihovimi imeni in simbolnimi zapisi).



Na osnovi skice zgoraj izpostavite tiste delce, ki v kemijski reakciji sodelujejo in zapišite enačbo kemijske reakcije. Uporabite sklice delcev.

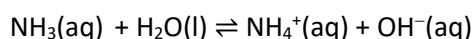
Na osnovi zgornje enačbe kemijske reakcije z delci zapišite pravo kemijsko enačbo, ki ste jo izvedli s poskusom. Označite tudi agregatna stanja snovi.

Kaj je glavni vir amonijaka v površinskih vodah? Poiščite podatke v viru na povezavi s QR kodo.

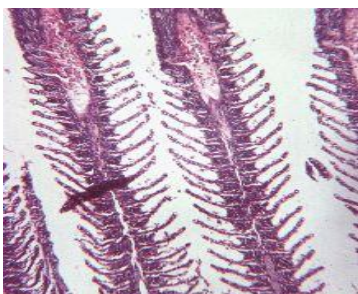


#### *Vpliv amonijaka na vodne organizme npr. ribe*

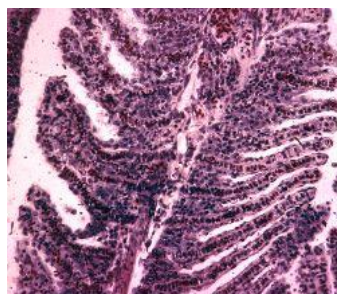
Ribe dihaajo s škrgami. Preko škrg teče voda v kateri je raztopljen kisik, ki lahko skozi tanko sluznico vstopa v kri ribe (Slika 1). Amonijak in amonijevi ioni so produkt metabolizma beljakovin. Amonijak izločajo ribe skozi posebne celice v škrgah neposredno v vodo, izločajo pa tudi sečnino z urinom. Amonijak je bolj strupen kot amonijevi ioni. V vodi je vzpostavljeno ravnotežje med molekulami amonijaka in amonijevimi ioni:



Amonijak v vodi deluje na ribe tako, da draži škrge, kožo in oči. Daljše obdobje izpostavljenosti nizkim koncentracijam povzroči odebelitev sluznice škrg (Slika 2) in kože. Otežen je pretok vode med škrgami, kar povzroči pri ribi dihalni stres in poveča možnost okužb. Ker ribe ne prejmejo dovolj kisika iz vode, plavajo pod površjem in poskušajo z usti zajeti čim več vode, bogate z raztopljenim kisikom. Izgleda, kot bi »hlastale po zraku«.



Slika 1. Normalna sluznica škrg.



Slika 2. Zadebeljena sluznica škrg.

Zastrupitev rib z amonijakom je posledica povečane koncentracije amonijaka v vodi in zato ga ribe težje izločajo skozi škrge. Posledice so: otrplost, izguba apetita, ležanje na dnu in hlastanje po zraku, če so prizadete škrge.

3

## Spoznajte določanje koncentracije amonijaka v vodi s spektrofotometrijo

Pred izvedbo poskusa spoznajte, kaj je spektrofotometrija.

Snovi se lahko analizira v analitskem kemijskem laboratoriju klasično ali inštrumentalno. Pri klasičnih metodah eni snovi dodamo drugo in opazujemo spremembe barv (npr. titracija), pri inštrumentalnih pa uporabimo določen analitski inštrument (npr. spektrofotometer). Spektrofotometrične metode temeljijo na merjenju elektromagnetnega valovanja (npr. svetlobe), ki ga oddajajo ali vpijajo določene molekule ali atomi snovi v vzorcu. Pogosto se uporablja vidna in ultravijolična svetloba, ker ima ustrezno energijo. Taki spektrofotometriji pravimo UV/Vis spektroskopija. Pri absorpcijski spektrofotometriji posvetimo skozi vzorec snovi s svetlobo določene valovne dolžine in merimo, koliko ter katere valovne dolžine svetlobe se absorbirajo (vpijejo). Določimo absorbanco snovi, to je količino svetlobe, ki se vpije v raztopini. Absorbanca je odvisna od koncentracije. Večja kot je koncentracija snovi v vzorcu, večja je absorbanca. Za vsako snov je potrebno določiti absorbance za znane koncentracije snovi v raztopini. Iz podatkov narišemo graf (umeritveno krivuljo) odvisnosti absorbance od koncentracije. Na osnovi umeritvene krivulje določimo koncentracijo snovi v vzorcu vode, ki ga odvzamemo v naravi.

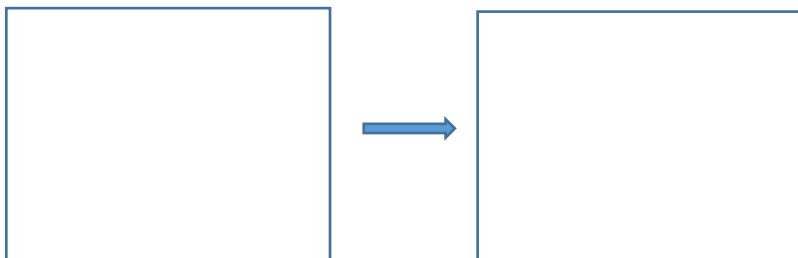
### Izvedite poskus.

1. Na tablici že imate pripravljeno umeritveno krivuljo za določanje koncentracije amonijaka v vodi.
2. Po navodilih za hitro analizo vode, izvedite določitev amonijaka v vodi in nato pripravljeni raztopini izmerite absorbanco.
3. V kiveto s pipeto odmerite 4 mL pripravljene raztopine in jo vstavite v režo spektrofotometra. Kiveto držite z dvema prstoma le na rebrasti strani, v režo pa jo vstavite tako, da bo svetloba potovala skozi gladki strani.
4. Z uporabo umeritvene krivulje določite koncentracijo amonijaka v vaši vzorčni vodi.

| Vrednost absorbance | Koncentracija amonijaka |
|---------------------|-------------------------|
|                     |                         |

Preučite potek kemijske reakcije z uporabo očal za obogateno resničnost. Opišite, kaj se dogaja na ravni delcev.

Skicirajte začetno in končno stanje na ravni delcev med potekom spektrofotometrične meritve. V skici označite vse pomembne elemente (npr. legendo delcev z njihovimi imeni in simbolnimi zapisi).



4

## Spoznajte vezavo amonijevih ionov na glinene delce (anorganska komponenta prsti) in na humusne delce (organska komponenta prsti)

### Izvedite poskus.

1. V stekleni koloni A imate glineno prst, v stekleni koloni B pa humus.
2. V obe koloni vlijte raztopino amonijaka, katere koncentracijo ste izmerili pod **3**.
3. Pod kolono dajte 50 mL čašo in počakajte, da se iz posamezne kolone izpere vsaj 5 mL raztopine.
4. Po navodilih za hitro analizo vode, izvedite določitev amonijaka v obeh vzorcih vod (označite jih z A in B), ki sta se izprala iz kolon s prstjo.
5. Pripravljenim raztopinam izmerite absorbanco, kot ste naredili pod **3**.

| Vrednost absorbance raztopine A | Koncentracija amonijaka v raztopini A |
|---------------------------------|---------------------------------------|
|                                 |                                       |
| Vrednost absorbance raztopine B | Koncentracija amonijaka v raztopini B |
|                                 |                                       |

Preučite potek kemijske reakcije z uporabo očal za obogateno resničnost. Opišite, kaj se dogaja na ravni delcev.

Skicirajte začetno in končno stanje raztopine na ravni delcev med pronicanjem raztopine skozi prst v obeh kolonah. V skici označite vse pomembne elemente (npr. legendo delcev z njihovimi imeni in simbolnimi zapisi).

Kolona A



Kolona B



Kaj lahko sklepate na osnovi poskusa in prikaza procesa na ravni delcev s pomočjo obogatene resničnosti?

## Kako bi vaše usvojeno znanje povezali s kroženjem dušika in življenjem ljudi na Zemlji?

## Prostor za zapiske.

## PRILOGA 6

Sklep etične komisije.

Ethics Commission  
Faculty of Education, University of Ljubljana  
Prof. Dr. Janez Vogrinc

 **PEF**  
UNIVERZA V LJUBLJANI Pedagoška fakulteta

Kardeljeva ploščad 16  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon: +386 (0)1 58 92 200  
faks: +386 (0)1 53 47 997  
+386 (0)1 58 92 233

prof. dr. Iztok Devetak,  
asist. Luka Ribič

Number: 16/2024  
Date: 2 April 2024

Pursuant to Article 16 of the *Rules of Procedure of the Ethics Commission of the Faculty of Education of the University of Ljubljana* dated 19 June 2014 (hereinafter: the Rules), the Ethics Commission (hereinafter: the Commission) has assessed the ethical appropriateness of the research entitled **Augmented Reality to Achieve Better Understanding of the Triple Nature of Chemical Concepts** (Dopolnjena resničnost za doseganje boljšega razumevanja trojne narave kemijskih pojmov) and adopted the following

### DECISION

The research entitled **Augmented Reality to Achieve Better Understanding of the Triple Nature of Chemical Concepts** (Dopolnjena resničnost za doseganje boljšega razumevanja trojne narave kemijskih pojmov) is ethically appropriate and is confirmed.

#### Explication:

The Commission received an application with a request to assess the ethical appropriateness of the research entitled **Augmented Reality to Achieve Better Understanding of the Triple Nature of Chemical Concepts** (Dopolnjena resničnost za doseganje boljšega razumevanja trojne narave kemijskih pojmov). The members of the Commission have examined the application and assessed it as follows from the operative part of the decision.

#### Legal Precept:

In the case that the applicant does not agree with the decision taken, s/he may request a reassessment of the application by the Commission and attach a written argument regarding the disputed elements of the application. The application shall be sent to the Ethics Commission of the Faculty of Education, University of Ljubljana. The Commission shall consider the application and the comments submitted at its next regular meeting and shall reach a decision accordingly. After such reconsideration the decision of the Commission is final and no further appeals to the Commission regarding the matter in question are possible.

Prof. Dr. Janez Vogrinc  
*President of the Ethics Commission of the  
Faculty of Education, University of Ljubljana*

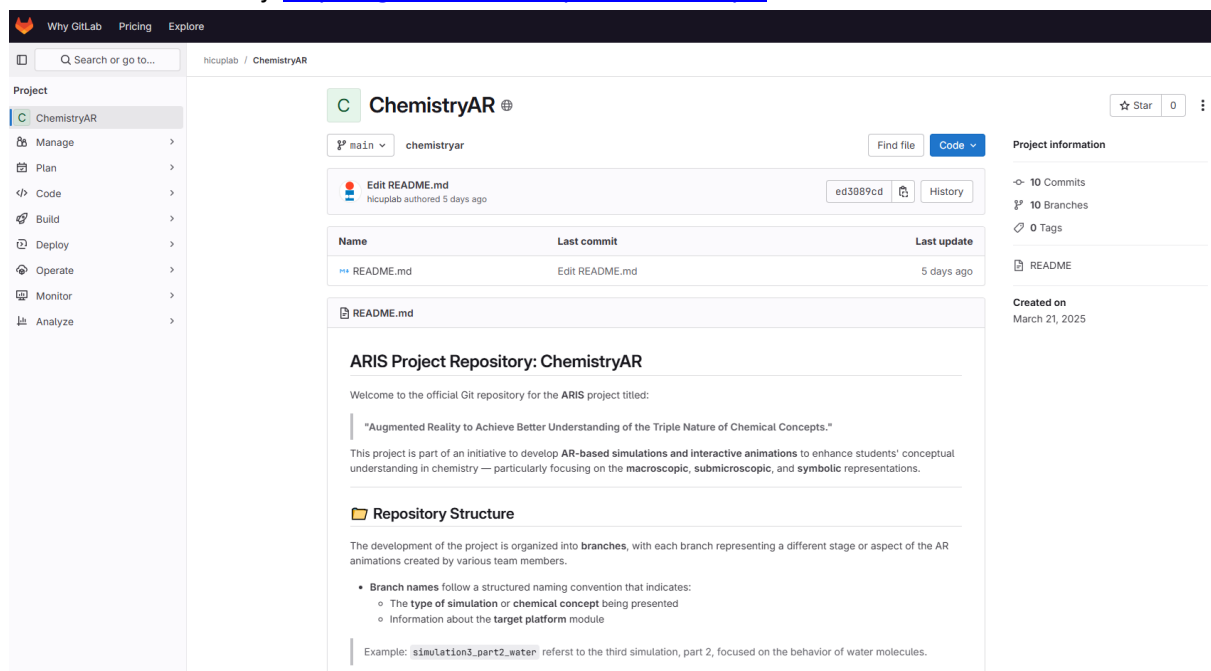
JANEZ  
VOGRINC

Digitalno podpisal  
JANEZ VOGRINC  
Datum: 2024.12.03  
14:52:28 +01'00'

cc:  
- applicant  
- student file in the archive of the Administration Office of the Faculty of Education, University of Ljubljana  
- archive, herein

## PRILOGA 7

Izvorna koda animacij: <https://gitlab.com/hicuplab/chemistryar>



The screenshot shows the GitLab interface for the 'ChemistryAR' repository. The left sidebar contains a 'Project' menu with options like Manage, Plan, Code, Build, Deploy, Operate, Monitor, and Analyze. The main content area displays the repository details, including the 'main' branch, a table of commits, and the README content. The README describes the project as an AR-based simulation and interactive animation tool for chemistry education, organized into branches.

**ChemistryAR**

Find file Code

10 Commits 10 Branches 0 Tags

README

Created on March 21, 2025

**ARIS Project Repository: ChemistryAR**

Welcome to the official Git repository for the ARIS project titled:

"Augmented Reality to Achieve Better Understanding of the Triple Nature of Chemical Concepts."

This project is part of an initiative to develop AR-based simulations and interactive animations to enhance students' conceptual understanding in chemistry — particularly focusing on the macroscopic, submicroscopic, and symbolic representations.

**Repository Structure**

The development of the project is organized into branches, with each branch representing a different stage or aspect of the AR animations created by various team members.

- Branch names follow a structured naming convention that indicates:
  - The type of simulation or chemical concept being presented
  - Information about the target platform module

Example: `simulation3_part2_water` referst to the third simulation, part 2, focused on the behavior of water molecules.

## PRILOGA 8

RIBIČ, Luka, ČOPIČ PUCIHAR, Klen, KLJUN, Matjaž, SLAPNIČAR, Miha, VINKO, Luka, WEERASINGHE ARACHCHILLAGE, Anuradhi Maheshya W., DEVETAK, Iztok. Augmented reality for stimulating learning of chemistry triplet. V: PINTAR, Albin (ur.). *Slovenski kemijski dnevi 2024 : zbornik povzetkov = book of abstracts : 30 let = 30 years : 18.-20. september 2024, Bernardin, Portorož*. Elektronska izd. Ljubljana: Slovensko kemijsko društvo, 2024. Str. 165. ISBN 978-961-95922-3-6.

[https://skd2024.chem-soc.si/wp-content/uploads/2024/08/SKD-2024-Zbornik-povzetkov\\_compressed.pdf](https://skd2024.chem-soc.si/wp-content/uploads/2024/08/SKD-2024-Zbornik-povzetkov_compressed.pdf). [COBISS.SI-ID [208979971](#)]

Zbornik povzetkov Slovenski kemijski dnevi 2024, 18.-20. september, Portorož

### Augmented reality for stimulating learning of chemistry triplet

Luka Ribič<sup>a</sup>, Klen Čopič Pucihar<sup>b</sup>, Matjaž Kljun<sup>b</sup>, Miha Slapničar<sup>a</sup>, Luka Vinko<sup>a</sup>, Maheshya Weerasinghe<sup>b</sup>, and Iztok Devetak<sup>a</sup>

<sup>a</sup>University of Ljubljana, Faculty of Education, Kardeljeva ploščad 16, 1000 Ljubljana, Slovenia

<sup>b</sup>University of Primorska, Faculty of Mathematics, Natural Sciences and Information Technologies, Glagoljaška 8, 6000 Koper, Slovenia

Chemistry is a subject that students usually find very complex. This is due to the triple nature of chemical phenomena. Johnstone [1] has proposed a model of thinking that addresses the microscopic, submicroscopic, and symbolic levels of chemistry. Conceptual understanding is achieved when a person is able to translate macroscopic phenomena (observations of chemical reactions) into submicroscopic, and symbolic forms of representation [2]. However, students have little or no experience in building such concepts [1]. One possible way to overcome this problem is through the use of technology that can enhance student motivation and guide learning [3]. One possible application of technology in chemistry teaching and learning could be augmented reality (AR). AR is an emerging technology with great possibilities for its use in chemistry education, mainly because it allows students to visualize chemical phenomena that are not visible to the naked eye [4].

Numerous studies have already been carried out on the use of AR in chemistry lessons. Students reported higher motivation when using AR technology [5], ease of use of the application [6], positive feedback and, most importantly, improved their learning outcomes [4]. However, no research has yet been conducted to investigate how students' understanding of the triple nature of chemical phenomena improves when AR is used to learn chemistry. Therefore, this presentation will describe the project to test the effectiveness of AR in understanding the triple nature of chemical phenomena. It will also identify factors that may influence the effectiveness of using this technology use in learning chemistry.

**Keywords:** Augmented reality, chemistry triplet, learning effectiveness, chemistry teaching.

#### Reference

- [1] A. H. Johnstone, (1991), Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- [2] V. Ferik Savec, I. Sajovic, K. S. Wissiak Grm, (2009), Action research to promote the formation of linkages by chemistry students between the macro, submicro, and symbolic representational levels, *Multiple Representations in Chemical Education*, 309–331.
- [3] K. Winkelmann, W. Keeney-Kennicut, D. Fowler, M. Macik, (2017), Development, implementation and assessment of general chemistry lab experiments performed in the virtual world of second life. *Journal of Chemical Education*, 94, 849–858.
- [4] A. Mazzucco, A. L. Krassman, E. Reategui, R. S. Gomes (2022), A systematic review of augmented reality in chemistry education, *Review of Education*, 10, e3325.

## PRILOGA 9

WEERASINGHE ARACHCHILLAGE, Anuradhi Maheshya W., RIBIČ, Luka, KLJUN, Matjaž, ČOPIČ PUCIHAR, Klen, DEVETAK, Iztok. Augmented reality training system fusing the triple nature of chemical concepts. V: BOHAK, Ciril (ur.), ČEHOVIN ZAJC, Luka (ur.), PEJOVIĆ, Veljko (ur.). *HCI-SI 2024: Human-Computer Interaction Slovenia 2024: proceedings of the 9th Human-Computer Interaction Slovenia (HCI SI) Conference 2024: Ljubljana, Slovenia, November 8, 2024*. [Aachen]: CEUR-WS, cop. 2024. Str. [64-70], ilustr. CEUR workshop proceedings, vol. 3866. ISSN 1613-0073. <https://ceur-ws.org/Vol-3866/short6.pdf>. [COBISS.SI-ID 219385347]

# Augmented Reality Training System Fusing the Triple Nature of Chemical Concepts

Maheshya Weerasinghe<sup>1</sup>, Luka Ribič<sup>2</sup>, Matjaž Kljun<sup>1,4</sup>, Klen Čopič Pucihar<sup>1,3,4</sup> and Iztok Devetak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Primorska, Faculty of Mathematics, Natural Sciences and Information Technologies, Koper, Slovenia

<sup>2</sup>University of Ljubljana, Faculty of Education, Ljubljana, Slovenia

<sup>3</sup>Faculty of Information Studies, Novo Mesto, Slovenia

<sup>4</sup>Stellenbosch University, Department of Information Science, Stellenbosch, South Africa

## Abstract

Understanding chemical concepts requires learners to engage with information on three interconnected levels: the macroscopic (observable phenomena), the microscopic (atomic and molecular interactions), and the symbolic (chemical equations and representations). This triple nature of chemistry poses challenges for traditional teaching methods, particularly when conveying the abstract and invisible aspects of these concepts. As a result, gaps in comprehension can arise, ultimately hindering learning outcomes. This paper presents the design and implementation of an Augmented Reality (AR) training system fusing the triple nature of chemical concepts into a contextually coherent learning experience. By integrating AR technology, learners can interact with 3D models of molecules, visualise chemical reactions in real-time, and connect abstract symbols with their physical and molecular counterparts.

## Keywords

chemistry learning, augmented reality, interactive systems, learning and education, head-mounted displays

## 1. Introduction

Experiential learning or learning by doing is a well-established educational approach that enhances students' comprehension of concepts taught in the classroom [1, 2]. For example, in chemistry education, laboratory activities play a vital role, allowing students to manipulate substances and handle laboratory equipment to conduct and observe chemical reactions, and understand new chemical concepts. Learning chemistry and understanding chemical concepts requires engagement on three interconnected levels, collectively known as the triple nature of chemical concepts. These levels include:

- **Macroscopic:** this level focuses on observable phenomena such as reactions, properties, and behaviours of substances in bulk. It includes concepts like concentration, temperature, and pressure, emphasising measurable quantities and tangible observations.

*HCI SI 2024: Human-Computer Interaction Slovenia 2024, November 08, 2024, Ljubljana*

✉ maheshya.weerasinghe@famnit.upr.si (M. Weerasinghe); luka.ribic@pef.uni-lj.si (L. Ribič); matjaz.kljun@upr.si (M. Kljun); klen.copic@famnit.upr.si (K. Čopič Pucihar); iztok.devetak@pef.uni-lj.si (I. Devetak)

☎ 0000-0003-2691-601X (M. Weerasinghe); 0000-0002-6988-3046 (M. Kljun); 0000-0002-7784-1356 (K. Čopič Pucihar)



© 2024 Copyright for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

 CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org)