

TLO KAO MODEL ZA POUČAVANJE SLOŽENIH ODNOSA U EKOSUSTAVU

Marina Balažinec

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Splitu

Poslijediplomski sveučilišni studij: *Istraživanje u edukaciji u području prirodnih i tehničkih znanosti – usmjerenje Biologija*
Split, Hrvatska

marina.barisic13@gmail.com

Sažetak: Proučavanje ekosustava predstavlja idealan model za učenje složenih sustava i dobru podlogu za rješavanje složenih problema. Razumijevanje ključnih koncepata ekosustava poput hranidbenih mreža, protoka energije, kruženja i razgradnje tvari predstavlja temelj za razumijevanje prirodnih znanosti. Brojna istraživanja ukazuju na manjkavosti u učeničkom konceptualnom razumijevanju ekosustava i pogrešna shvaćanja ključnih koncepata povezanih s njim. Uzroci tome su kompleksni kao i pojmovi koje učenici trebaju savladati. Često na konstrukciju koncepata utječu prijašnja znanja stečena tijekom godina školovanja, u medijima te kulturološki stečena znanja i iskustvena znanja, a jedan od ključnih razloga je što koncepti nisu sinkronizirani kroz predmete i godine učenja te se često obrađuju zasebno, a ne kao jedna povezana cjelina. Predlaže se korištenje ekosustava tla kao modelnog ekosustava koji pruža niz mogućnosti za istraživanje svih ključnih koncepata ekosustava kao cjeline, a vrlo je praktično za istraživanje u školskom okruženju.

Ključne riječi: hranidbena mreža, kruženje tvari, protok energije, razgradnja tvari, praktični rad, iskustveno učenje

I. UVOD

Ekologija je interdisciplinarno i jedno od važnijih krovnih područja u biologiji čija je temeljna zadaća proučavanje ekosustava [1]. Ekosustav je dinamičan sustav u kojem se sve njegove žive i nežive komponente uvjetuju i povezuju pa svaka promjena u bilo kojoj od komponenata utječe, u manjoj ili većoj mjeri, na ekosustav u cjelini [2]. Pojam ekosustav prvi je put korišten u publikaciji britanskog ekologa Arthura Tansleya 1935. godine, a sam pojam izmislio je pet godina prije toga njegov kolega Roy Clapham [3]. Proučavanje ekosustava usko je povezano s kruženjem tvari, protokom energije, hranidbenom mrežom te razgradnjom tvari, a u osnovi tih ključnih bioloških koncepata nalaze se procesi koji predstavljaju temelje za razumijevanje prirodoslovlja i matematike [4]. Proučavanje ekosustava predstavlja idealan model za proučavanje složenih sustava i temelj rješavanja složenih problema [1]. Fiziološki procesi, ljudski mozak, sunčev sustav, atmosfera i ekonomija predstavljaju složene sustave, a zajedničko im je organizacija na

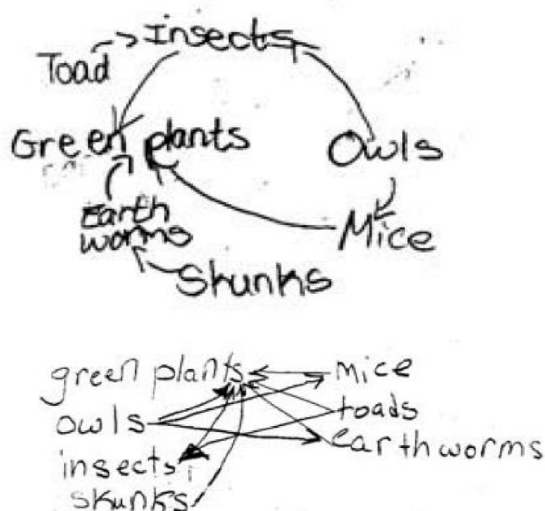
više razina, heterogene komponente, međuovisnost, povratna sprega, nelinearnost i dinamička ravnoteža odnosno osjetljivost na promjene gdje i najmanja promjena uzrokuje domino efekt i dovodi do nepovratne promjene cijelog sustava [2], [5].

Poučavajući učenike kako pristupiti tako složenim sustavima pripremamo ih za život u kojem će se sigurno susretati sa složenim poslovnim i privatnim odlukama koje će imati posljedice ne samo na njihove živote nego i živote njihovih kolega i bližnjih. Uče kako biti sistematični, analiziraju probleme u širem kontekstu, uzimaju u obzir višestruke uzročno-posljedične veze i predviđaju dugotrajne posljedice trenutnih aktivnosti [5], [6], [7]. Znanja stečena proučavanjem kompleksnih sustava potrebna su znanstvenicima, ali i brojnim drugim strukama kao što su inženjeri, pravnici, liječnici i ekonomisti. Tako se na primjer kompeticija i sinergija mogu proučavati u ekosustavima, ali se stečene spoznaje mogu primijeniti na odnose u velikim korporacijama [8], samo je potrebno pri poučavanju potaknuti uočavanje tih i drugih kumulativnih principa koji podržavaju konceptualno razumijevanje međuodnosa i procesa. Pravilno funkcioniranje živog svijeta u ekosustavima ovisi o međuodnosima, interakcijama i međuovisnostima njegovih komponenti na različitim razinama [9]. Tako ekosustav možemo promatrati na tri razine: na razini molekula (izmjena plinova, stvaranje i razgradnja organskih tvari), stanica (stanično disanje, fotosinteza) i organizma (proizvođači, potrošači, razlagači, odnosi između populacija u ekosustavu) [2]. Da bi razumjeli kompleksne sustave učenici trebaju imati moć povezivanja tih razina [9]. Brojna istraživanja pokazuju da učenici imaju problema s konceptualnim razumijevanjem ekosustava i s njim povezanih ključnih koncepata zbog čega je neophodno sagledati dosadašnja istraživanja učeničkog razumijevanja ključnih procesa ekosustava kako bi se mogle utvrditi smjernice za potencijalna poboljšanja poučavanja.

II. UČENIČKO RAZUMIJEVANJE KLJUČNIH KONCEPATA EKOSUSTAVA KROZ DVA DESETLJEĆA

Hranidbenom mrežom kroz direktne i indirektno odnose prikazujemo protok energije u nekom ekosustavu [10]. Razumijevanjem hranidbene mreže

možemo predvidjeti značaj neke vrste za ekosustav i promjene u njemu [11]. Hranidbene mreže su sastavljane od mnogo međusobno povezanih hranidbenih lanaca, gdje su organizmi podjeljeni u trofičke razine: proizvođači, potrošači prvog i drugog reda i razlagači [10]. Istraživanja pokazuju da učenici u dobi od 10 do 12 godina donekle razumiju i objašnjavaju hranidbenu mrežu i povezanost njezinih sudionika, ali imaju poteškoća uvidjeti povezanost populacija i utjecaj jedne populacije na drugu [4]. Često previde važnu ulogu sunca i proizvođača u hranidbenoj mreži, pa tako većina njih smatra ako biljke izumru da će to utjecati samo na potrošače prvog reda [4], [11], ali i da broj potrošača prvog reda ne utječe na broj proizvođača [7], [12]. Smatraju da će populacije utjecati jedna na drugu samo ako su u odnosu predator-plijen te da promjena u populaciji koja je plijen neće utjecati na populaciju koja je predator [13]. Ne uviđaju posljedice promjene broja jedne populacije na promjenu broja populacije koja nije u istom hranidbenom lancu odnosno učenici nemaju problema s uviđanjem direktnih veza u hranidbenoj mreži, ali se teškoće javljaju s uviđanjem indirektnih veza [10], [13]. Sve navedeno upućuje na činjenicu da promatraju odnose linearno (proizvođač-potrošač) i objašnjavaju dinamiku hranidbene mreže u okviru pojednostavljenog, linearnog hranidbenog lanca [14]. Fokusiraju se na odnose predator-plijen i individualne odnose umjesto na prijenos energije i međupovezanost sudionika. Strelice crtaju u smjeru plijen-predator što upućuje na to da gledaju hranidbenu mrežu kao prikaz *tko jede koga* umjesto kao prijenos energije (Slika 1) [4], [15], [16].



Slika 1. Učenički prikaz hranidbene mreže [4]

Ova pogrešna shvaćanja mogu se javiti zbog nepotpunih prikaza hranidbenih mreža (Slika 2), dvosmislenih tekstova u udžbenicima te poučavanja koje se vrlo često bazira na pitanjima *Što?* i *Kako?*, a vrlo rijetko na pitanju *Zašto?*. Odgovoriti na pitanje *Zašto?* neophodno je za biološko razumijevanje uzročno-posljedičnih veza te

povezivanje procesa i pojava [4]. U hrvatskim udžbenicima prirode za šesti razred osnovne škole hranidbene mreže prikazuju se često bez razlagača [17], [18] i glavnog izvora energije-sunca [18], [19]. Značenje strelica se ne objašnjava [17], [18], [19], a popratni tekstovi vode na zaključak da se radi o prijenosu hranjivih tvari i prikazu odnosa *tko jede koga*:

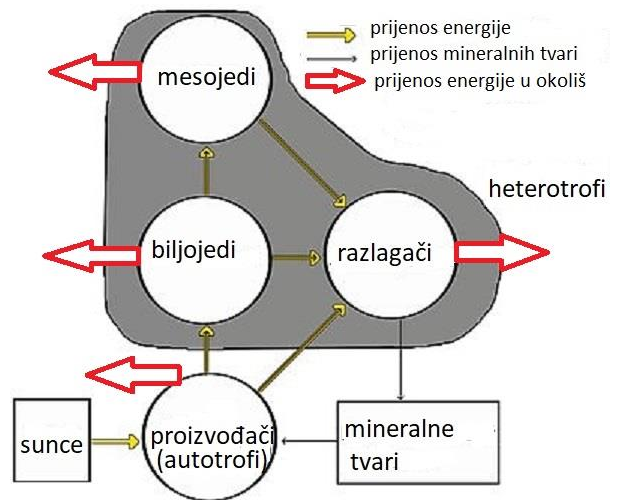
- „kroz hranidbeni lanac se odvija prijenos hranjivih tvari od proizvođača preko niza potrošača do razlagača...u hranidbenim mrežama jedan organizam može dobiti hranu (energiju) iz nekoliko različitih izvora...organizmi koji povezuju više hranidbenih lanaca omogućuju stvaranje hranidbene mreže... sunčeva energija koja fotosintezom ulazi u ekološki sustav pohranjuje se u obliku kemijske energije u hranjivim tvarima. Manji dio tih tvari ugrađuje se u tijela potrošača i koristi im za životne procese. Veći se dio pretvara u toplinu. Tako energije protječe kroz životne zajednice ekološkog sustava“ [17],
- „biljnim sokom se hrani cvrčak, a njime se hrani šojka. Šojka je hrana vjetruši ili čaglju. Ovaj niz organizama čini jedan hranidbeni lanac. Pod zanimljivostima je spomenuto da: svaki član hranidbenog lanca prenosi sljedećem članu samo jednu desetinu energije koju je primio. Preostalih devet desetina rabi se za kretanje, rast i razmnožavanje, a dio se oslobađa u obliku topline“ [18],
- „hranidbeni nam lanci prikazuju put hrane od proizvođača do niza potrošača. Jedan organizam može biti dio više hranidbenih lanaca pa kažemo da se lanci isprepliću i tvore hranidbenu mrežu. Nakon što biljni i životinjski organizmi uginu, razlažu ih razlagači i vraćaju u obliku minerala proizvođačima. Tako se u morskim ekološkim sustavima održava kruženje tvari i protok energije“ [19].



Slika 2. Prikaz hranidbenih mreža u hrvatskim udžbenicima prirode za šesti razred osnovne škole [17], [18], [19]

U dosadašnjem, sadržajno usmjerenom, poučavanju biologije prijenos energije, piramide biomase i brojnost populacija prikazuju se površno i opisuju bez zahvaćanja razumijevanja procesa i međuodnosa [15], [16]. Hranidbeni odnosi protežu se u Prirodi kroz cijeli šesti razred i obrađuju u svakom staništu [17], [18], [19]. Učenike bi trebalo poučavati hranidbene mreže u kontekstu prijenosa energije i pri tome obuhvatiti razlagače i sunce te objasniti kruženje tvari i protok energije kako bi učenici dobili cjelovitu sliku. Učenicima treba naglasiti da strelice predstavljaju prijenos energije. Također im treba naglasiti da se energija prilikom svakog prijenosa oslobađa u okolinu u obliku topline [20] (Slika 3).

Dobre rezultate učenja pokazale su igre uloga u kojima su učenici sami predstavljali određenu životinju i uz pomoć konca povezivali se s drugim životinjama, kompjutorske simulacije za objašnjavanje međuodnosa te objašnjavanje uz pomoć domino-efekta [4], alati za 3D vizualizaciju [21] kao i proučavanje ekosustava u učionici kao što je npr. akvarij [1], [22].



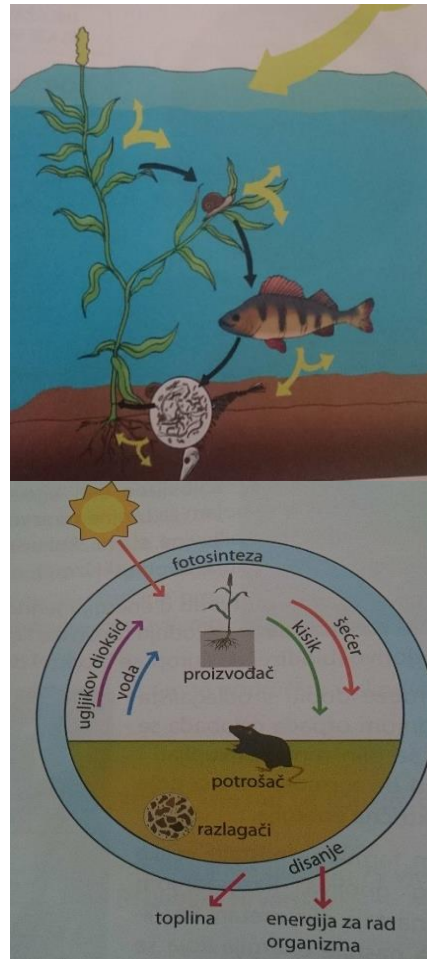
Slika 3. Prijedlog prikaza hranidbenih mreža [23]

Energija je apstraktni, neopipljiv znanstveni koncept [24]. Iako je energija jedinstven pojam kojeg upotrebljavaju sve grane znanosti, javljaju se nesuglasice između biologa i fizičara oko mogućnosti ponovne upotrebe energije u sustavu [25]. Definicija energije nije jedinstvena i ovisi o polju istraživanja i kontekstu u kojem se istražuje. Fizičari bi tako potvrdili da se energija može reciklirati, dok se biolozi s tim ne bi složili [24]. Ove nesuglasice proizlaze iz različitog poimanja granica sustava [25]. Fizičari i kemičari proučavaju idealne, zatvorene sustave, dok biolozi proučavaju realne, otvorene sustave kao što su ekosustavi koji su u direktnom kontaktu s okolišem, pa energija prelazi iz ekosustava u okoliš i obrnuto [24]. U većini ekosustava sunce predstavlja glavni izvor energije kojeg koriste proizvođači za stvaranje bioloških molekula u procesu fotosinteze. Kemijska energija pohranjena u tim molekulama prenosi se hranidbenim lancem od proizvođača do potrošača i razlagača. U tom lancu svaki sljedeći organizam dobije samo oko 10% energije od prethodnika [25], ostatak se troši na metaboličke procese i održavanje stalne tjelesne temperature kod toplokrvnih životinja i nepovratno odlazi u okoliš, pa više nije dostupna organizmima u ekosustavu [24]. Kako bi učenicima približili apstraktne pojmove kao što je energija, prilikom poučavanja koristimo metafore koje, ako se ne koriste u ispravnom kontekstu i ako se učenicima ne naglase njihova značenja, mogu imati znatan utjecaj na pogrešnu konstrukciju koncepata [26]. Neke od tih metafora su *protok energije* i *gubitak energije*. Kod izraza *protok energije* problem može stvarati riječ *protok* koja sugerira da je energija tvar odnosno fluid [27]. Nordine [28] smatra da je upotreba ove metafore dobra jer je u suglasju s očuvanjem energije, ljudi intuitivno znaju ako nešto protječe od jednog mjesta da mora završiti na nekom drugom mjestu. Što se tiče metafore *gubitak energije* bitno je učenicima naglasiti da se pod gubitkom

energije misli na njezinu degradaciju u ekosustavu odnosno transformaciju u oblik koji se više ne može iskoristiti od strane članova sustava jer je inače gubitak energije u oprečju s prvim zakonom termodinamike koji govori da se energija ne može izgubiti niti može iz ničega nastati [28]. Dobar primjer je gubitak krvi gdje krv istječe iz organizma kroz nastalu ranu i više se ne može koristiti, već se mora nadomjestiti [29]. Učenici često mješaju protok energije s kruženjem tvari, kako tvari i energija putuju u hranidbenoj mreži zajedno, skloni su misliti da se i energija na kraju vrati na početak kao i tvari i da je opet dostupna proizvođačima [4], [14], [27], [30]. Proučavanjem konceptualnih mapa pokazalo se da učenici imaju problema s povezivanjem žive i nežive prirode [31]. Smatraju da se energija unutar hranidbenog lanca zbraja, pa tako predatori imaju najviše energije jer dobivaju energiju i od proizvođača i od potrošača [32].

U našim udžbenicima iz prirode za šesti razred osnovne škole pojam energije u ekosustavu objašnjava se zajedno s protokom tvari u zasebnoj nastavnoj cjelini, nakon što se obrade hranidbene mreže šumskih zajednica. Prilikom objašnjavanja koriste se obje, gore navedene, metafore *protok energije* i *gubitak energije*. U većini udžbenika je objašnjen njen gubitak (degradacija) kroz trofičke razine zbog metabolizma i održavanja stalne tjelesne temperature (Slika 4) :

- „kruženje tvari prati protok energije. Sunčevu energiju procesom fotosinteze biljke pretvaraju u kemijsku energiju koja je pohranjena u nastaloj hrani. U tijelu biljoždera kemijska energija prelazi u toplinsku energiju. Manji dio te energije ugrađuje se kao kemijska energija u tvarima koje se nalaze u stanicama organizma. Pri svakom daljnjem prenošenju energije iz jednog organizma u drugi, čak 80-90% energije gubi se u obliku topline“ [17],
- „energija iz hrane potrebna je živim bićima za gibanje tijela i životne porcese u organitmu. Jednom iskorištena svjetlosna Sunčeva energija i energija hrane više se ne može iskoristiti. Zato biljke trebaju novu Sunčevu energiju, a životinje moraju jesti novu hranu. Dakle, energija protječe“ [18],
- „nakon što biljni i životinjski organizmi uginu, razlažu ih razlagači i tako vraćaju u oblik minerala proizvođačima. Tako se u morskom ekološkom sustavima održava kruženje tvari i protok energije“ [19].



Slika 4. Prikaz protoka energije i kruženja tvari u ekosustavu u hrvatskim udžbenicima prirode za šesti razred osnovne škole [17], [18]

Prilikom objašnjavanja protoka energije treba paziti na upotrebu metafora [26]. Bitno je učenicima naglasiti da su u ekosustavu razlagači završna točka za energiju, ali ne i za tvari. Tvari se „recikliraju“ i vraćaju na početak dok nova energija ulazi u sustav uz pomoć sunca i proizvođača [4]. Dobre rezultate pokazala je istraživačka nastava koju su provodili učenici u vremenskom periodu od godine dana po tri sata tjedno gdje su imali dostupne ekosustave šuma, pustinja, gradova, oceana te prikupljali podatke kao što su temperatura, vlaga, količina kisika gdje su učitelji naglašavali i usmjeravali učenike na promatranje energije i objašnjavanje što se događa s njom u ekosustavu [1].

Razgradnja organske tvari je bitan proces za život na Zemlji u kojem se uz pomoć razlagača (gljive, bakterije, kukci, gujavice i oblići) oslobađaju mineralne tvari korisne za život biljaka i životinja koje žive u zemlji [14]. U jednom gramu zemlje nalazi se na desetke tisuća većinom mikroorganizama koji sudjeluju u razgradnji tvari [33]. Na brzinu raspada organske tvari utječu: atmosferski uvjeti (vlažnost, kiselost, temperatura), kemijski sastav organske tvari (grančice, lišće, cvijet

ili plod) i prisutnost razlagača (brzina razgradnje ovisi o vrsti razlagača) [14]. Organske tvari građene su većim dijelom od ugljika (50%), kisika (40%), dušika (3%), a ostatak čine fosfor, kalij, magnezij i kalcij [33]. Za školski uzrast primjereno je praćenje razgradnje biljnog materijala [14] koja se odvija u dvije faze: u prvoj fazi brzina razgradnje i gubitak mase je velika jer se razgrađuju šećeri i ostale lako razgradive tvari, nakon čega slijedi stabilizacija razgradnje i gubitak mase je minimalan te u zemlji ostaju nerazgradive tvari kao što je lignin [33]. Razgradnjom, biljni materijal gubi na težini upravo zbog oslobađanja ugljikovog dioksida u atmosferu što znači da brzina razgradnje tvari i količina razgrađene tvari može utjecati na klimatske uvjete [33].

Studije pokazuju da učenici ne posjeduju konceptualno razumijevanje o procesu raspadanja organske tvari. Zemlju doživljavaju kao statičnu tvar koju povezuju s prljavštinom i u kojoj se ništa posebno ne odvija [34], a proces truljenja i umiranja kao krajnju točku raspada tvari, a ne kao fazu u ciklusu kruženja [35], [36], [37]. Istraživanja također pokazuju da vrlo malo učenika u dobi od 10 do 13 godina zna da se organske tvari pretvaraju u mineralne, smatraju da tvari budu pojedene, da se istroše ili da nestanu u zrak [38], [39]. Većina učenika u dobi od 11 do 12 godina smatra da se tvari pretvaraju u zemlju i da mikroorganizmi nemaju veze s raspadanjem tvari [35], [40]. Kada su učenici pitani što uzrokuje truljenje jabuke, više od 80% ispitivanih učenika u dobi od 14 do 16 godina reklo je da je to prirodno svojstvo jabuke, a 60% učenika spomenulo je razlagače kao uzročnike truljenja, ali nitko od učenika nije spomenuo temperaturu ili vlagu kao bitne činitelje koji utječu na brzinu truljenja [14]. Kada spominju razlagače onda su to većinom crvi, kukci i organizmi vidljivi golim okom, ali ne i mikroorganizmi [4], [15]. Međunarodna studija pokazuje da oko polovice turskih i engleskih studenata ima pogrešnu predodžbu o procesu raspadanja organske tvari i smatraju da su za razgradnju odgovorni proizvođači i potrošači te zemlja [41]. Grozer [4] ističe da je najveći problem što se razgradnja tvari odvija u određenom vremenskom periodu i posljedice nisu odmah vidljive pa učenici teško mogu predočiti što je to zapravo. Na krivu konstrukciju pojmova utječu prijašnji konstrukti koje su učenici stvorili [32] i činjenica da razgradnjom čvrste tvari nastaju plinovi koje oni ne mogu vidjeti, pa smatraju da ih niti nema [35], [42].

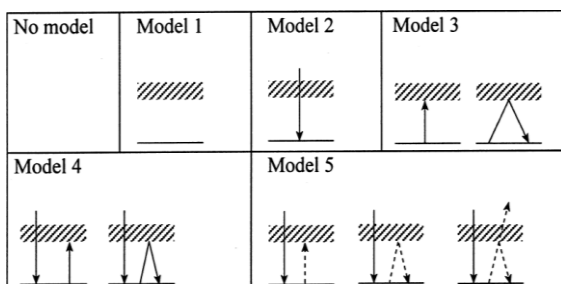
U našim udžbenicima iz prirode za šesti razred osnovne škole raspadanju organskih tvari posvećene su jedna do dvije rečenice u sklopu nastavnih jedinica koje opisuju hranidbene lance pojedinih staništa ili nastavne jedinice *Kruženje tvari i protok energije*:

- „razlagači – saprofiti razlažu uginule organizme (proizvođače i potrošače) na vodu, ugljikov dioksid i mineralne tvari. Tim se tvarima iznova koriste proizvođači u procesu fotosinteze...svi organizmi nakon određenog životnog vijeka ugibaju. Njihova tijela razlagači razgrađuju na jednostavnije tvari koje mogu ponovno iskoristiti biljke“ [17],
- „kada organizmi uginu, razlagači ih razgrađuju te nastaju voda, ugljikov dioksid i mineralne tvari koje će biljke opet iskoristiti u procesu fotosinteze i ugraditi ih u svoj organizam. Razlagači tako osiguravaju kruženje tvari“ [18],
- „hranidbene lance uvijek okružuju brojni razlagači. Oni uginule organizme razlažu na ugljikov dioksid, vodu i mineralne tvari te tako pomažu kruženju tvari u prirodi“ [19].

Istraživanje koje je proveo Ero-Torivel [34] na učenicima uzrasta 6-7 godina pokazalo je pozitivne rezultate u razumijevanju razgradnje organske tvari, utjecaja makroorganizama na razgradnju i vremenskih uvjeta uz pomoć iskustvenog učenja kao što je proučavanje truljenja banane i bundeva, lista salate u različitim uvjetima, proučavanje gujavica i komposišta u vrtu škole. Kako bi učenici razumjeli proces razgradnje tvari i ulogu razlagača ključno je učenike upoznati s organizmima koji žive u tlu, osvijestiti činjenicu da tlo nije statično već jedan od najsloženijih ekosustava na Zemlji [34]. Uz sve to tlo predstavlja idealan medij za praćenje i promatranje jer je lako dostupno i praktično za rad u učionici. Razumijevanje procesa raspadanja tvari usko je povezano s kruženjem ugljikovog dioksida u prirodi te klimatskim promjenama [33], pa predlažem i obradu tih pojmova i procesa.

Kruženje ugljikovog dioksida i efekt staklenika aktualne su interdisciplinarne teme koje su usko povezane sa svim ekosustavima [43]. Hrana koju jedemo i energije koju koristimo za životne potrebe ovise o ugljikovim spojevima pohranjenim u fosilnim gorivima i biomasi. Ugljikov dioksid kao primarni produkt ljudske aktivnosti utječe na temperaturu zraka, padaline i sastav atmosfere [33]. Sposobnost praćenja kruženja ugljikovih spojeva kroz ekosustav odnosno, razumijevanje procesa kruženja ugljikovog dioksida predstavlja temelj za razumijevanje raznih ekoloških procesa i socio-ekonomskih sustava koji ovise o njima [43]. Ovom problematikom najviše su se bavili britanski znanstvenici Boyes i Stanisstreet koji su proučavali učeničko razumijevanje ovog pojma jedno cijelo desetljeće [44], [45], [46], [47], [48], [49]. Oni su 1993. godine proveli kvantitativno istraživanje na 861 učeniku u dobi od 11 do 16 godina kako bi otkrili miskonceptije koje učenici imaju o efektu

staklenika. Istraživanje je pokazalo da većina učenika povezuje efekt staklenika sa zatopljenjem na Zemlji, klimatskim promjenama, topljenjem leda i poplavama. Većina učenika povezuje ugljikov dioksid i dušikove spojeve s globalnim zatopljenjem, ali određen broj učenika kao uzročnike navodi i ozonske rupe i freone. Kada su ih pitali kako bi smanjili efekt staklenika većina je predložila sadnju drveća, recikliranje i korištenje obnovljivih izvora energije, ali su također naveli upotrebu bezolovnog goriva, čišćenje plaža i zaštitu ugroženih vrsta što upućuje na zaključak da učenici smatraju da će svaka ekološka akcija doprinjeti poboljšanju svakog ekološkog problema [45]. Usporedili su rezultate 9 godina kasnije na 1485 učenika u dobi od 11 do 16 godina kako bi provjerili ukorijenjenost miskonceptija, te se pokazalo da učenici imaju manje znanja o efektu staklenika, ali i manje pogrešnih predožbi. Pa ih je tako manje povezivalo globalno zatopljenje s poplavama i manji postotak je naveo ugljikov dioksid kao faktor koji utječe na globalno zatopljenje, ali ih je i manje spominjalo povezanost efekta staklenika s ozonskim rupama i freonima [49]. U istraživanju koje je proveo Anderson [50] na oko 600 švedskih učenika starosti od 15 do 18 godina njih samo 10% znalo je u cjelosti objasniti učinak staklenika. Slika 5. prikazuje učenička objašnjenja efekta staklenika pomoću pet modela obzirom jesu li učenici spominjali tri bitna pojma prilikom opisivanja efekta staklenika: barijera, ulazno zračenje i izlazno zračenje. Model 1 prikazuje odgovore gdje su učenici spomenuli samo barijeru. Model 2 prikazuje objašnjenja postojanja barijere i ulaznog zračenja (sunčevog zračenja). Model 3 prikazuje zračenja koja odlaze sa Zemlje u atmosferu. Model 4 prikazuje barijeru, ulazno i izlazno zračenje, ali ne i različita svojstva tih zračenja. Model 5 prikazuje objašnjenja barijere, ulaznog i izlaznog zračenja. Brojna istraživanja dokazala su i potvrdila ukorijenjeno pogrešno shvaćanje da je globalno zatopljenje uzrokovano oštećenjem ozonskog omotača [45], [47], [48], [50], [51] i da je globalno zatopljenje povezano s upotrebom goriva koje sadrži olovo [46] te da uzrokuje rak kože [48]. Ono što zabrinjava su podaci da isto pogrešno shvaćanje imaju američki učitelji razredne nastave [52] i studenti društvenih znanosti [53], a i istraživanja koje su proveli Boyes i Stanistreet 1992 i 2001 godine na studentima prve godine biologije pokazala su slične rezultate [44], [49].



Slika 5. Grafički prikaz učeničkih objašnjenja učinka staklenika [50]

U našim udžbenicima iz Prirode za šesti razred osnovne škole efekt staklenika spominje se u sklopu nastavne jedinice *Utjecaj čovjeka na okoliš i zaštita prirode*:

- „plinovi koji su sastavni dio atmosfere propuštaju Sunčevo zračenje na Zemlju, ujedno propuštaju u svemir toplinu koju isijava Zemlja. To nazivamo stakleničkim učinkom. Bez toga bi učinka Zemlja bila oko 33 celzijusa hladnija. Tako atmosfera omogućuje život na Zemlji. Prekomjernim i nepromišljenim iskorištavanjem fosilnih goriva količine ugljikovog dioksida i ostalih stakleničkih plinova u atmosferi se izratito povećavaju. Time vraćaju dio topline na površinu Zemlje. Zbog toga se naš planet sve više zagrijava. Zato nastaje globalno zatopljenje s mnogobrojnim posljedicama. Sve su primjetnije klimatske promjene s učestalim sušama, poplavama, olujnim nevremenima i toplinskim udarima“ [17],
- „dio Sunčeva zračenja zagrijava Zemlju, a dio se vraća u svemir. Plin ugljikov dioksid i drugi tzv. staklenički plinovi koji se nalaze u atmosferi propuštaju toplinu koja dolazi sa Sunca i zadržavaju dio topline koji se sa Zemlje vraća u svemir. Tako nastaje tzv. učinak staklenika. Da toga nema tj. kada bi se sva toplina vratila u svemir, Zemljina bi površina bila prehladna za život. Zbog izgaranja nafte, plina i ugljena te požara i raspadanja organizma, nastaju velike količine ugljikovog dioksida. Povećanjem koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi se zadržava prekomjerna količina topline te se ona zagrijava“ [18],
- „ugljikov dioksid nastaje izgaranjem fosilnih goriva. Nakupljanjem količine ugljikovog dioksida nastaje sloj koji zadržava toplinu i ne dopušta vraćanje topline u svemir. Zemlja se nalazi kao u stakleniku pa tu pojavu nazivamo učinak staklenika. Posljedica je globalno zatopljenje, opće zatopljenje na Zemlji. Dolazi do otapanja ledenjaka na polovima i visokim planinama, što utječe na podizanje razine mora i pojave poplava. Zbog poremećaja klime, česte su promjene temperature zraka, pojave oluja i suša“ [19].

Ekološke teme trebale bi biti zastupljenije u osnovnoškolskom obrazovanju, ali ne samo na razini navođenja organizama u pojedinim dijelovima biotopa kao što je to sada potencirano pri poučavanju. Energetika ekosustava i s njime

povezane klimatske promjene jedan su od aktualnih problema za koje ne postoji jednostavno i jednoznačno rješenje, a posljedice koje na njih ima ljudska aktivnost teško se predviđaju [44]. Pri poučavanju ekologije neizostavno je uključiti i afektivnu domenu poučavanja te nastojati oblikovati poželjne stavove, ali i osvijestiti značaj svakog postupka pojedinca na procese koji se odvijaju u prirodi [45]. Praćenjem klimatskih promjena mijenjamo ukorijenjene pogrešne stavove da jedan čovjek ne može pokrenuti promjene te dajemo moć svojim učenicima da zauzmu čvrste stavove i budu aktivni građani koji će misliti globalno, a djelovati lokalno [54]. Također je bitno probuditi svijest da smo mi dio prirode, te se u skladu s tim moramo i ponašati, što ju više oblikujemo sebi na korist to će posljedice biti teže [45]. Bitno je poučiti odrasle mlade ljude koji će prihvatiti odgovornost odlučivanja i koji će znati komunicirati, voditi dijaloge i kritički se osvrnuti na svoje odluke [54]. Naglasak treba biti na razvoju pozitivnih stavova i kritičkog mišljenja koje će učenicima omogućiti da donose odgovorne odluke za svoj okoliš i planet [45]. Učeći o klimatski promjena učenici se bave aktualnim temama, koje mogu čuti svakodnevno u medijima i koje imaju utjecaj na njihove živote, pa je motivacija za učenje vrlo visoka. Kroz aktivnosti povezane s praćenjem i zaštitom okoliša razvijaju se u građane koji aktivno sudjeluju u kreiranju budućnosti, kritički promišljaju o svojim i tuđim postupcima, sposobni su analizirati svoje postupke i kritički se osvrnuti na njih te jasno komuniciraju poštujući sugovornika [54]. Proučavanje klimatskih promjena je idealna aktivnost koja potiče učenike na razmišljanje o odgovornijem ponašanju prema okolišu i prirodnim resursima [45].

Svi navedeni pojmovi ključni za ekosustav trebali bi se proučavati kao cjelina na jednom stvarnom ekosustavu uz pomoć nastave koja omogućuje učenicima aktivno sudjelovanje. Na taj način učenicima bi se približili apstraktni pojmovi o kojima postoje pogrešna shvaćanja i problemi u njihovom razumijevanju već dvadesetak godina. U ovom radu predlaže se tlo kao modelni ekosustav za istraživačko učenje osnovnih principa bitnih za svaki ekosustav.

III. TLO

Tlo je rastresita prirodno-povijesna tvorevina nastala djelovanjem pedogenetskih činitelja tijekom procesa pedogeneze na rastresitom matičnom supstratu ili trošini čvrste matične stijene [55]. Tlo je otvoren, dinamičan sustav u kojem se događa intenzivna izmjena tvari i energije u površinskom dijelu litosfere [56]. Postoje činitelji tvorbe tla pod čijim djelovanjem ona nastaju i razvijaju se, kao što su matični supstrat, živi organizmi, klima, reljef, hidrološki uvjeti, čovjekova

djelatnost i vrijeme. Na području istih pedogenetskih činitelja razvijaju se ista ili vrlo slična tla [55]. Kažemo da je tlo četverofazni strukturirani sustav koji se sastoji od čvrste, tekuće i plinovite faze te živih organizama [56]. Predstavlja idealnu podlogu za proučavanje ekologije jer povezuje sve Zemljine sfere. Razumijevanje bioloških, fizikalnih, geoloških i kemijskih procesa koji se događaju u tlu ključno je za razumijevanje klimatskih promjena, procesa kruženja tvari, pogotovo ugljikovog dioksida, ali i ostalih bitnih procesa i opisnica ekosustava kao što su erozija i plodnost tla [33].

Tlo je porozni, vodeno-zračni medij gdje vrijednosti vlažnosti i temperature nisu sklone velikim odstupanjima i upravo zbog tih relativno konstantnih uvjeta je bilo među prvim naseljenim kopnenim staništima [57]. U tlu obitavaju raznovrsni organizmi cijeli život ili samo dio života. Smatra se da ima dvostruko više organizama u tlu nego u tropskim kišnim šumama [58]. Organizmi u tlu najčešće se dijele prema veličini na: mikrobiota, mesobiota i makrobiota i prema ulozi koju imaju u tlu na: razlagače, graditelje i mikropredatore [59]. Zbog jednostavnosti interpretacije pogodno je organizme podijeliti prema Tkalčec [56] na mikroskopske i makroskopske. U mikroskopske spadaju alge, bakterije, gljive, plijesni i praživotinje. Oni su vrlo važni čimbenici mineralizacije, humifikacije te ostalih procesa poput oksidacije, redukcije tla i fiksacije dušika. Makroskopski organizmi su kukci iz redova kornjaša, opnokrilaca, kožaša, skokunaca i dvorepaca, ličinke leptira i dvokrilaca, stonoge, paukovi, grinje, krpelji, račići babure, gujavice, puževi, krtice i miševi. Žive u porama tla i hrane se, ovisno o vrsti, organskim tvarima, mikroorganizmima, manjim beskralježnjacima i biljkama. Većina životinja nalazi se na dubini od 30 cm [60]. Gujavice, mravi i termiti igraju značajnu ulogu u pedogenezi jer mješanjem humusa tla sudjeluju u bioturbaciji i tako stvaraju raznovrsne životne uvjete, povećavaju bioraznolikost te prozračuju tlo [57]. Organizmi u tlu utječu na: strukturu tla, reguliraju hidrološke procese, izmjenu plinova i njihovu akumulaciju u tlu, kruženje tvari, detoksikaciju tla, izvor su hrane, sudjeluju u simbiotskim odnosima (mikoriza, bakterije roda *Rhizobium* i mahunarke, mirmekofilija – kukci i mravi) i utječu na rast biljaka [60]. Svaki poremećaj prirodne ravnoteže u ekosustavu tla može dovesti do smanjenja produktivnosti i degradacije [59]. Znanja o bioraznolikosti tla i odnosima koji vladaju u takvom ekosustavu ključna su za razvoj održivog poljoprivrednog sustava [57]. Organizmi koji žive u zemlji su zaduženi za pravilno funkcioniranje tla i održavanje dinamičke ravnoteže u tlu [59]. Još jedno svojstvo tla je izuzetno bitno, a to je tekstura koja utječe na sposobnost tla da zadrži vodu, mineralne tvari i sposobnost korjenja da se razvija i širi tlom. Prema teksturi, tla možemo podijeliti na glinena,

pieskovita i ilovasta. Tla s visokim udjelom gline zbog svojih malih pora i visoke površinske napetosti imaju sposobnost zadržavanja vode, njezino otjecanje je sporije, a povećano je bubrenje, plastičnost i ljepljivost tla. Tla s visokim udjelom pijeska zbog velikih pora brzo propuštaju vodu, povećan je protok vode i zraka [56].

Značenje tla za civilizaciju ne može se dovoljno naglasiti. Tlo je omogućilo sjedilački način života i razvoj civilizacije, a izum i usavršavanje pluga, korištenje stoke, a zatim i stroja za vuču, otvorili su put napretku u proizvodnji hrane i porastu svjetske populacije [61]. Tlo u znatnoj mjeri oblikuje naše živote: određuje koliko ćemo hrane proizvoditi, gdje ćemo graditi zgrade i naselja i hoće li to biti održivo kroz godine [62]. Primarna i najpoznatija uloga tla temelji se na njegovoj plodnosti odnosno na svojstvu da opskrbljuje biljke vodom i mineralnim tvarima, što omogućuje proizvodnju organske tvari procesom fotosinteze. U toj ulozi tlo je nezamjenjiv čimbenik važne gospodarske grane – poljoprivrede [59]. Njoi zahvaljujući, čovjek namiruje svoje potrebe za hranom, pićem, sirovinama za prehrambenu industriju, lijekovima [61]. Prema Tomić i sur. [62] druge ključne uloge tla su:

- **ekološko-regulacijska** – tlo, kao rastresiti sloj Zemljine kore, je prostor između litosfere i atmosfere, koji je istovremeno u jakoj interakciji s biosferom i hidrosferom. Djeluje kao akceptor, akumulator i transformator tvari i energije između svih Zemljinih sfera povezujući ih. Tlo štiti podzemne vode i akvatične ekosustave jer djeluje kao univerzalni pročistač voda. Djeluje kao pufer inaktivirajući opasne tvari kao što su pesticidi pomoću kationa i adsorpcijskih kompleksa,
- **klimatsko-regulacijska** - tlo emitiranjem i apsorpcijom ugljikovog dioksida i drugih plinova čija emisija u atmosferu uzrokuje “učinak staklenika” utječe na sadržaj i ukupnu količinu tih plinova u atmosferi. Središnja je karika u lancu biotransformacije organskog ugljika. Globalno gledajući, ukupna količina organskog ugljika u tlu trostruko je veća nego u nadzemnoj biološkoj masi: u ekvatorijalnom području je podjednaka, a u aridno - stepskom području desetorostruko je veća u tlu nego u nadzemnoj masi,
- **biološko-regulacijska** – tlo je početna i završna točka brojnih bioloških kruženja, raskošni “genski rezervat” i temelj biološke raznolikosti o čemu rječitro govori podatak da dobro, plodno tlo u oraničnom sloju sadrži oko 25 tona/ha živih organizama. Također predstavlja medij za rast svih vrsta biljaka,
- **materijalno-sirovinska uloga** - tlo je značajan izvor sirovina za građevnu industriju, keramičarski obrt i industriju, ali i umjetnost. Pa se tako tlo koristi za proizvodnju cigle, iskop gline, pijeska, šljunka, treseta i proizvodnju umjetnina. Zidovi špilja Chauvet i Lascaux oslikane su mješavinom zemlje, drvenog ugljena, sline i svinjske masti,
- **prostorna** - pruža prostor za život i djelatnosti čovjeka; industriju, transport, stanovanje i rekreaciju, odlaganje otpada, oblikovanje kulturnog krajobraza. Za optimalno gospodarenje prostorom vrlo je važno da se njegova namjena maksimalno temelji na svojstvima tla,
- **konzervacijsko-arhivska** - tlo je geogeno i kulturno nasljeđe u kojem su konzervirani različiti arheološki artefakti i paleontološki materijal koji omogućuju rekonstrukciju geogene i antropogene prošlosti nekog prostora.

IV. PRIJEDLOG OSNOVNIH AKTIVNOSTI

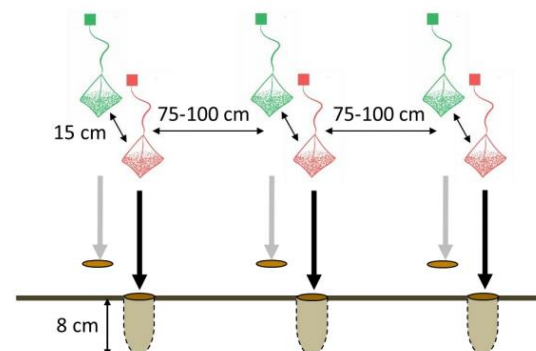
Iako tlo hrani ljudsku populaciju, održava ravnotežu ostalih ekosustava, pročišćava vode, omogućuje razgradnju tvari, pruža podlogu za gradnju stambenih prostora, a razumijevanje procesa koji se odvijaju u tlu bitni su za razumijevanje ključnih prirodoslovnih koncepata poput kruženja tvari i protoka energije, vrlo je malo zastupljeno u nastavnom planu i programu (Tablica 1). U našim školama učenici se s tлом najčešće susreću u obliku izvannastavnih aktivnosti vrtlarstva [63], [64] i u sklopu posebnih projekata i programa. Ministarstvo znanosti i obrazovanja je 1994./5. godine izradilo i pokrenulo projekt *Najljepši školski vrtovi* u osnovnom školstvu. Projekt je zamišljen kao obnova školskih vrtova, u kojima će djeca, radeći na zemlji lakše izliječiti i zaboraviti ratne traume (psihoterapija putem rada). Škole širom Hrvatske u velikom su se broju odazvale pozivu pa je obnova školskih vrtova prerasla u natječaj za najljepše školske vrtove. Tu su još neki programi i projekti koji učenicima omogućuju proučavanje okoliša i brigu za isti, pa u sklopu toga i proučavanje tla. Neki od tih programa koji se provode u Hrvatskim školama su: međunarodni GLOBE program, UNESCO-vi programi SEMEP, *Škole koje promiču zdravlje*, *Obrazovanje za održivi razvitak*, europski projekt *Eko-škola*, programi sekcije Hrvatskoga prirodoslovnoga društva *Mladi čuvari prirode* [64]. Rad sa zemljom i na zemlji zagovarali su neki od poznatih prosvjetitelja poput Rousseaua, Gandhia, Montessori i Deweya [65]. Amerikanci su izradili brojne kurikulume u sklopu prirodoslovnih predmeta koji promiču vrtlarstvo, uzgoj voća i povrća te terensku i praktičnu nastavu i iskustveno učenje: 1978 Life Lab K-5 Science Program, 1990 GrowLab

curricula, Texas A&M's Junior Master Gardener Program, UC Davis' curriculum Nutrition to Grown On, i New York's curriculum Kids Growing Food [66]. U Europi je trenutno aktivno nekoliko projekata koji populariziraju aktivnosti povezane s tlom. Neki od tih projekata su: *TBI projekt* kojeg su pokrenuli Nizozemski instituta za ekologiju, Utrecht sveučilište u Nizozemskoj i Austrijska agencija za zdravlje i sigurnost hrane [33] te projekt *From Soil to Sky* kojeg je pokrenulo Dundee sveučilište u Škotskoj [67]. U projekte se mogu uključiti svi učitelji, učenici i građani Europe te uz pomoć online radionica, predavanja i priručnika učiti o važnosti tla za ljudsku populaciju. Brojne studije pokazuju pozitivne učinke vrtlarenja i učenja na zemlji [63], [68], [69], [70] [71], pa čak se spominju i terapijska svojstva za učenike s teškoćama u razvoju [70], [72].

Pri poučavanju u kojem bi se moglo ostvariti konceptualno razumijevanje uz dobru osnovu i nadogradnju u izgradnji koncepata ekosustava potrebno je koristiti metode i tehnike poučavanja i učenja koje dokazano pozitivno utječu na učenje i motivaciju učenika. Istraživanja su dokazala da učenike za učenje motivira aktivno sudjelovanje u nastavi i iskustveno učenje kroz praktični rad [34], [69], [73], [74], [75], eksperimentiranje, laboratorijski rad [22], [76], [77], terensku nastavu [70], [71], [78] i igru [79], [80], [81]. Pokazalo se da kroz praktični rad učenicima raste samopouzdanje [82], da postižu bolje rezultate [83], [84] i uče odgovornosti [70], [72]. Kao osnovne aktivnosti pri poučavanju predlažu se aktivnosti koje se temelje na iskustvenom učenju i istraživačkoj nastavi kroz praktični rad, pokuse i igru.

TBI metoda je znanstveno potvrđena i priznata jednostavna, standardizirana metoda za praćenje brzine razgradnje biljnog materijala i količine oslobođenog ugljikovog dioksida u različitim biomima (eng. *Tea Bag Index*). Metodu su od 2010. do 2013. godine razvijali znanstvenici s Nizozemskog instituta za ekologiju, Utrecht sveučilišta u Nizozemskoj i Austrijske agencije za zdravlje i sigurnost hrane (AGES) kako bi povezali učinak atmosferskih uvjeta na razgradnju organske tvari, a samim time i na količinu oslobođenog ugljikovog dioksida. Od 2014. do 2016. godine osjetljivost metode testirana je na različitim biomima i prikupljeno je oko 2000 podataka iz cijelog svijeta i zaključeno je da je metoda dovoljno osjetljiva za razlikovanje bioma i ekosustava, a unutar jednog ekosustava može razlikovati utjecaj abiotičkih čimbenika kao što je temperatura zraka/tla i vlažnost odnosno količina padalina. Metoda koristi dvije vrste čaja (zeleni i roibos) marke Lipton kako bi se odredila brzina i količina raspada biljnog materijala. Zeleni čaj sadrži biljni materijal koji se brže raspada, a roibos sadrži više lignina i teže razgradivog materijala. Čajevi se zakopavaju na tri mjeseca u zemlju, prije i nakon čega se važu (Slika 6). Nakon tri mjeseca sadržaj zelenog čaja nalazi se u drugoj, a

crvenog čaja u prvoj fazi raspada. Pomoću razlike mase prije zakopavanja i nakon tri mjeseca izračuna se stabilizacijski faktor (S) iz vrijednosti zelenog čaja i konstanta razgradnje (k) iz vrijednosti roibos čaja. Konstanta k nam govori o brzini raspada organske tvari (vrijednosti između 0.01-0.04). Manja je u hladnijim predjelima, viša u toplijim. Faktor S nam govori koliko organske tvari se nije razgradilo (vrijednosti između 0.05-0.6) i manji je što je veća temperatura i više padalina [33]. S učenicima se može organizirati istraživački rad u kojem će pratiti proces razgradnje tvari u različitom tipu tla (glina i pijesak) ili u različitim klimatskim uvjetima (more i kopno). Ovom aktivnošću učenici bi prošli sve elemente istraživačkog rada od postavljanja pitanja i hipoteze do razrade metode, prikupljanja podataka i izvođenja zaključaka što je osnova svakog znanstvenog rada i tako ostvarili ishode neophodne za razvijanje prirodoslovne pismenosti [85]. Učili bi o utjecaju vanjskih činitelja poput temperature, padalina i vegetacije na razgradnju tvari. Osvjestili bi utjecaj mikroorganizama na razgradnju tvari pošto se masa čajeva s vremenom smanjuje. Raspravljali bi u kojem slučaju se oslobodilo više ugljikovog dioksida i kako to može utjecati na klimu. Što mogu poduzeti da smanje količinu oslobođenog ugljikovog dioksida. Učenici diljem Europe sudjeluju u ovoj aktivnosti i pomažu stvaranju globalne mape te imaju mogućnost suradnje sa znanstvenicima koji su razvili ovu metodu. Time stječu osjećaj da su njihove aktivnosti na lokalnoj razini i bitni za doprinos ekologiji na globalnoj razini.



Slika 6. Metoda zakopavanja čajeva [33]

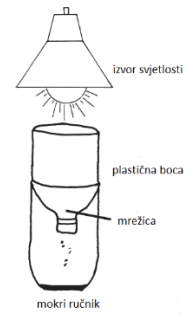
Izrada terarija s gujavicama. Učenici bi grupno proučavali razgradnju različitog biljnog materijala (kriška jabuke, banane, list salate...) u zemlji sa i bez gujavica. Za tu potrebu bi izradili terarije kao na Slici 7. a. i promatrali ponašanje gujavica. Nakon nekoliko dana izvadili bi organsku tvar iz terarija, crtali i opisivali zapažene promjene. Također bi između grupa raspravili koja tvar se razgrađuje brže. Na ovaj način učenici bi naučili da gujavice zajedno s ostalim organizmima razgrađuju organske tvari.

Izrada hranidbene mreže pomoću živog materijala. Učenici bi po grupama proučavali uzorak tla kojeg su prethodno prikupili. Odredili bi

strukturu, teksturu, boju i konzistenciju tla (najbolje je uzeti uzorak tla u blizini komposišta ili šumsko tlo u kasno proljeće ili ranu jesen). Učenici bi po grupama tražili makroskopske životinje, izdvojili ih i pomoću dobivenog ključa determinirali. Izradili bi aparaturu kao na Slici 7. b. i preko noći ostavili da manje životinje ispužu van iz tla, potom također deteminirali pomoću ključa. Učenici bi se informirali o načinu života životinja koje su pronašli u zemlji nakon čega bi izradili hranidbenu mrežu i pomoću vođenog razgovora i crteža učili o protoku energije i kruženju tvari. Ovdje učitelj posebnu pažnju posvećuje značenju strelica pri povezivanju životinja u hranidbenom lancu te metaforama koje koristi objašnjavajući protok energije.



Slika 7. a. Terarij



7. b. Aparatura [33]

Tablica 1. Zastupljenost obrade ekosustava tla i pojmova vezanih uz tlo u osnovnoj školi [86]

razred	predmet	nastavna cjelina	postignuća
prvi	priroda i društvo	čistoća okoliša	prepoznati čovjekov utjecaj na okoliš
drugi	priroda i društvo	zaštita i čuvanje okoliša	razumjeti utjecaj čovjeka na okoliš, navesti postupke kojima učenici mogu pridonijeti zaštiti, očuvanju i unapređenju okoliša
četvrti	priroda i društvo	tlo – uvjet života	razlikovati vrste tla (boja, izgled); znati da je najplodnije tlo crnica.
peti	priroda	uzgoj i zaštita životinja	obrazložiti što je tlo, objasniti kako nastaje humus; navesti o čemu ovisi plodnost tla; usporediti prihranjivanje umjetnim i prirodnim gnojivima; odrediti što je kompost i zelena gnojidba; razlikovati kemijska sredstva od biološke zaštite
	geografija	prirodna bogatstva i očuvanje okoliša	obrazložiti važnost sirovina i energije za život i rad čovjeka; razlikovati na fotografijama ili crtežima obnovljive i neobnovljive izvore energije
šesti	priroda	živa bića, stanište i životni uvjeti	obrazložiti povezanost proizvođača, potrošača i razlagača; istražiti životne uvjete na odabranoj postaji (izmjeriti: temperaturu zraka, tla, vode, procijeniti količinu svjetlosti);
		korist od šuma, onečišćenje i zaštita	opisati štetna djelovanja pretjeranoga iskorištavanja šuma (erozija) i kiselih kiša
		korist od mora i kopnenih voda, onečišćenje i zaštita	razlikovati mehaničko i biološko pročišćivanje vode; obrazložiti samopročišćivanje vode
	geografija	klima i biljni pokrov	navesti primjere utjecaja klimatskih čimbenika na klimu Europe opisati povezanost klime i biljnoga svijeta
sedmi	biologija	gljive	razred navesti koristi od gljiva (kao razlagači)
		kolutičavci	obrazložiti značenje gujavice za kakvoću tla (humus)
	kemija	zrak i glavni sastojci zraka	poznavati sastav zraka (glavna 4 sastojka + vodena para); Kruženje ugljikovog dioksida se ne spominje!
osmi	kemija	kruženje ugljika	poznavati najvažnije kemijske procese kruženja ugljika u prirodi (fotosinteza, stanično disanje, spaljivanje fosilnih goriva, požari, razgradnja organskih tvari, otapanje vapnenačkih stijena, vulkanske erupcije); pokusima pokazati da povećana emisija ugljikova dioksida u atmosferu uzrokuje povišenje temperature Zemlje kao planete, što uzrokuje promjene klimatskih uvjeta na Zemlji.
	geografija	klima, biljni svijet i ekološki problemi Hrvatske	obrazložiti međuovisnost klime, biljnoga svijeta i tla

V. ZAKLJUČAK

Iz svega gore navedenog jasno je da postoje mnoga pogrešna shvaćanja povezana uz ključne koncepte ekosustava. Više je razloga tome:

- učenici gledaju na odnos akcija-posljedica linearno [87],
- usredotočuju se na strukturu, a ne na funkciju sustava [2],
- imaju poteškoća u povezivanju ključnih koncepata u biologiji na različitim razinama [31], teško im je makroskopske pojave objasniti na mikroskopskoj razini, te se zadržavaju na makroskopskim objašnjenjima [14], [31], [36], [87], [88],
- imaju problema s opisivanjem transformacije tvari na atomsko-molekularnoj razini [42]; [89],
- skloni su zaključiti da krute ili tekuće tvari koje raznim procesima kao što je gorenje, probava, stanično disanje, prelaze u plinovito stanje zapravo prelaze u energiju npr. masti se pretvaraju u energiju procesom staničnog disanja [43],
- smatraju da kemijske reakcije staju kada postignu ravnotežu [90].

Da bi razumjeli složene sustave učenici moraju razumjeti povezanost između razina u sustavu (mikroskopska i makroskopska razina, struktura, funkcija i ponašanje) što zahtjeva apstraktno mišljenje [2]. Nepovezivanju razina u znatnoj mjeri doprinose trenutni nastavni planovi i programi i školski udžbenici u kojima su poglavlja organizirana po odvojenim područjima bioloških disciplina kao što je molekularna biologija, botanika, zoologija, fiziologija čovjeka, evolucija i ekologija čime se često ograničava integracija unutar biologije te slaba povezanost između predmeta koja rezultira izostankom integracije prirodoslovnih koncepata u interpretaciji bioloških procesa i pojava [31]. I u našim kurikulumima može se naći sličan problem gdje učenici iz prirode u šestom razredu osnovne škole uče o energiji koju će tek iz fizike učiti u sedmom razredu. U petom razredu iz prirode spominju difuziju i osmozu bez znanja iz kemije [86], pa znanja ovih ključnih, kao i mnogih drugih, koncepata ostaju uglavnom samo na pojavnj razini i njenom opisivanju. Na primjerima hrvatskih vodećih izdavača školskih udžbenika vidjeli smo da se koncepti ključni za razumijevanje složenih ekosustava poput hranidbene mreže, protoka energije i kruženja tvari obrađuju isprekidano i odvojeno, a neki, poput razgradnje tvari, se jedva spominju [17], [18], [19]. Na učenje u znatnoj mjeri utječu i već izgrađena tumačenja procesa i koncepata, znanja stečena izvan škole putem medija, kulturološki uvjetovana znanja i iskustvena znanja koja su često iskrivljena i stvaraju poteškoće u

konceptualnom razumijevanju [32], [91]. Kako bi učenici stekli konceptualno razumijevanje ekosustava i svih procesa bitnih za njegovo normalno funkcioniranje smatram ključnim promatranje jednog takvog ekosustava koji će učenicima pružiti mogućnost promatranja odnosa, uviđanja veza na osnovi iskustvenog učenja te praktični rad s naglaskom na istraživačko učenje. Smatram da je ekosustav tla najpogodniji za takvu izvedbu jer je lako dostupan i jedan je od rijetkih ekosustava uz vodeni sustav (akvariji) čije se sve komponente mogu promatrati u učionici.

VI. LITERATURA

- [1] B. Eilam, „Strata of comprehending ecology: looking through the prism of feeding relations,“ *Science Education*, vol. 86, pp. 645-671, 2002.
- [2] C. Hmelo-Silver, S. Marathe, and L. Liu, „Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems,“ *Journal of the Learning Sciences*, vol. 16, pp. 307-331, 2007.T.A.
- [3] A. H. Johnstone, and N. A. Mahmoud, „Isolating topics of high perceived difficulty in school biology,“ *Journal of Biological Education*, vol.14, no. 2, pp. 163-166, 1980.
- [4] Grotzer, C. Dede, S. Metcalf, and J. Clarke, „Addressing the challenges in understanding ecosystems: Why getting kids outside may not be enough,“ *National Association of Research in Science Teaching (NARST) Conference*, Garden City, CA, 2009.
- [5] N. H. Sabelli, „Complexity, Technology, Science and Education,“ *Journal of the Learning Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 5-9, 2006.
- [6] J. H. Holland, „Hidden order: How adaptation builds complexity,“ *Addison-Wesley*, New York, 1995.
- [7] K. Hogan, „Assessing students' systems reasoning in ecology,“ *Journal of Biological Education*, vol. 35, pp. 22-28, 2000.
- [8] M. D. Cohen, R. L. Riolo, and R. Axelrod, "The Emergence of Social Organization in the Prisoner's Dilemma: How Context-Preservation and Other Factors Promote Cooperation,“ *Working paper*, 99-01-002, Santa Fe Institute, New Mexico, 1999.
- [9] E. Mayr, „This is biology: the science of the living world,“ *The Belknap Press of Harvard University Press*, Cambridge, MA, 1997.
- [10] M. Cozzens, „Food webs, competition graphs, and habitat formation,“ *Math. Model. Nat. Phenom.*, Vol. 6, no. 6, pp. 22-38, 2011.
- [11] T.A. Grotzer, „Can children learn to understand complex causal relationships?: A pilot study,“ *Unpublished qualifying paper*, Harvard University, Cambridge, 1989.
- [12] C.R. Barman, A. K. Griffiths, and A.O. Okebukola, „High school students' concepts regarding food chains and food webs: a

- multinational study," *International Journal of Science Education*, vol. 17, pp. 775-782, 1995.
- [13] A. K. Griffiths, and B. A. C. Grant, „High school students' understanding of food webs: Identification of a learning hierarchy and related misconceptions," *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 22, no. 5, pp. 421-436, 1985.
- [14] J. Leach, R. Driver, P. Scott, and C. Wood-Robinson, „Children's ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5–16 about the cycling of matter," *International Journal of Science Education*, vol. 18, pp. 19–34, 1996.
- [15] K. Hogan, „Eco-Inquiry: A guide to ecological learning experiences for the upper elementary/middle grades," Kendall Hunt, Dubuque, Iowa, 1994.
- [16] L. Gallegos, M. E. Jerezano, and F. Flores, „Preconceptions and relations used by children in the construction of food chains," *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 31, pp. 259-272, 1994.
- [17] M. Bastić, R. Bule, M. Bulić i D. Novoselić, „Priroda 6 – udžbenik," Alfa, Zagreb, 2014.
- [18] D. Bendelja, E. Operta, R. Roščak i H. Valečić, „Priroda 6," Školska knjiga, Zagreb, 2015.
- [19] B. Agić, A. Lopac Groš, O. Meštrović i T. Petrač, „Živi svijet 6," Profil, Zagreb, 2014.
- [20] K. Vance, K. Miller, and B. Hand, „Two examples of using constructivist approaches to teach ecology at the middle school level," *The American Biology Teacher*, vol. 37, no. 4, pp. 244-249, 1995.
- [21] A. Syahputra, „Designing An Interactive Learning Method Using Augmented Reality On Food Chain Concept," *The 2nd International Multidisciplinary Conference*, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia, 2016.
- [22] R. Jordan, S. Gray, M. Demeter, L. Lui, and C. E. Hmelo-Silver, „An Assessment of Students' Understanding of Ecosystem Concepts: Conflating Ecological Systems and Cycles," *Applied Environmental Education & Communication*, vol. 8, no. 1, pp. 40-48, 2009.
- [23] Kormondy, E. J. "Energy Flow beyond the Producers," *Concepts of Ecology*, vol. 4, pp. 93-116, 1996.
- [24] L.M. Hartley, J. Momsen, A. Maskiewicz, and C. D'Avanzo, „Energy and matter: differences in discourse in physical and biological sciences can be confusing for introductory biology students," *BioScience*, vol. 62, no. 5, pp. 488-496, 2012.
- [25] D. G. Kozlovsky, „A critical evaluation of the trophic level concept. I. Ecological efficiencies," *Ecology*, vol. 49, pp. 48-60, 1968.
- [26] R. Duit, „On the role of analogies and metaphors in learning science," *Science Education*, vol. 75, pp. 649–672, 1991.
- [27] R. Lancor, „Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics," *Science & Education*, vol. 23, pp. 1245–1267, 2014.
- [28] J. Nordine, „Teaching Energy Across the Sciences, K-12," NSTA Press, National Science Teachers Association, 2016.
- [29] W. Ulrike, J. Schwanewedel, and U. Harms, "Metaphors describing energy transfer through ecosystems: Helpful or misleading?," *Science Education*, vol. 102, no.1, pp. 178-194, 2018.
- [30] J. Burger, „Student conceptions concerning energy in biological contexts-research, analysis and conclusions," PhD Thesis, Bielefeld university, Bielefeld, 2001.
- [31] C.Y. Lin, and R. Hu, „Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration," *International Journal of Science Education*, vol. 25, no. 12, pp. 1529–1544, 2003.
- [32] E. O. Adeniyi, „Misconceptions of selected ecological concepts held by some Nigerian Students," *Journal of Biological Education*, vol. 19, pp. 311–316, 1985.
- [33] J. Sarneel, and F. Brounéus, „Teachers manual Teatime4science" Umeå University, Sweden, 2016. [Online]. Available: http://www.teatime4science.org/wp-content/uploads/teatime4science_english.pdf
- [34] I. Ero-Tolliver, D. Lucas, and L. Schauble, "Young children's thinking about decomposition: Early modeling entrees to complex ideas in science." *Research in Science Education*, vol. 43, no. 5, pp. 2137-2152, 2013.
- [35] G. Helldén, „Environmental Education and Pupils' Conceptions of Matter," *Environmental Education Research*, vol. 1, no. 3, pp. 267-277, 1995.
- [36] R. Driver, H. Asoko, J. Leach, E. Mortimer, and P. Scott, „Constructing scientific knowledge in the classroom," *Educational Researcher*, vol. 23, no. 7, pp. 5–12, 1994.
- [37] B. Bell-Basca, T. A. Grotzer, K. Donis, and S. Shaw, "Using domino and relational causality to analyze ecosystems: Realizing what goes around comes around." *Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST)*, New Orleans, 2000.
- [38] G. Hellden, „Pupils' understanding of ecological process," *The LISMA group learning in science and mathematics Report No.2*, Kristianstad University College, Sweden, 1992.
- [39] M. Sequeira, and M. Freitas, "Death and decomposition of living organisms: children's alternative frameworks," 11th Conference of the National Association for Teacher Education in Europe, Toulouse, France, 1986.
- [40] E. L. Smith, and C. W. Anderson, „Alternative student conceptions of matter cycling

in ecosystems," Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, California, 1986.

[41] G. Çetin, "English and Turkish pupils' understanding of decomposition," Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, vol. 8, no. 2, pp. 1-24, The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies, 2007.

[42] D. L. Benson, M. C. Wittrock, and M. E. Baur, "Students' preconceptions of the nature of gases." Journal of research in science teaching, vol. 30, no. 6, pp. 587-597, 1993.

[43] L. Mohan, J. Chen, and C. W. Anderson, "Developing a multi- year learning progression for carbon cycling in socio- ecological systems," Journal of research in science teaching, vol. 46, no. 6, pp. 675-698, 2009.

[44] E. Boyes, and M. Stanisstreet, „Students' perceptions of global warming," International Journal of Environmental Studies, vol. 42, no. 4, pp. 287-300, 1992.

[45] E. Boyes, and M. Stanisstreet, „The Greenhouse Effect: children's perceptions of causes, consequences and cures," International Journal of Science Education, vol. 15, no. 5, pp. 531-552, 1993.

[46] E. Boyes, and M. Stanisstreet, „Threats to the global environment: The extent of pupil understanding," International Research in Geographical and Environmental Education, vol. 5, pp. 186-195, 1996.

[47] E. Boyes, and M. Stanisstreet, „Children's models of understanding of two major global environmental issues (Ozone Layer and Greenhouse Effect)," Research in Science and Technological Education, vol. 15, pp. 19-28, 1997.

[48] E. Boyes, and M. Stanisstreet, „High school students' perceptions of how major global environmental effects might cause skin cancer," The Journal of Environmental Education, vol. 29, no. 2, pp. 31-36, 1998.

[49] E. Boyes, and M. Stanisstreet, „Plus ça change, plus c'est la même chose? School students' ideas about the "Greenhouse Effect" a decade on," Canadian Journal of Environmental Education, vol. 6, pp. 77-101, 2001.

[50] B. Andersson, and A. Wallin, „Students' understanding of the greenhouse effect, societal consequences of reducing CO2 emissions and why ozone layer depletion is a problem," Journal of Research in Science Teaching, vol. 37, no. 10, pp. 1096-1111, 2000.

[51] J. A. Rye, P. A. Rubba, and R. L. Wiesenmayer, „An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming," International Journal of Science Education, vol. 19, no. 5, pp. 527-551, 1997.

[52] T. Khalid, „Pre-service high school teachers' perceptions of three environmental phenomena," Environmental Education Research, vol. 9, no. 1, pp. 35-50, 2003.

[53] J. Dove, „Student teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain," Environmental Education Research, vol. 2, no. 1, pp. 89-100, 1996.

[54] M. Bonnett, „Environmental education and beyond," Journal of Philosophy of Education, vol. 31, pp. 249-266, 1997.

[55] M. Herak, „Geologija," 5th ed. Školska knjiga, Zagreb, 1990.

[56] S. Tkalčec, „Strukturna svojstva tla s obzirom na geografski položaj u RH," PhD Thesis, Polytechnic of Međimurje, Sustainable development, Čakovec, 2016.

[57] P. Lavelle, and A. V. Spain, „Soil ecology," Springer Science and Business Media, Berlin, 2001.

[58] M. J. Swift, O. W. Heal, and J. M. Anderson, „Decomposition in terrestrial ecosystems," Univ. of California Press, California, 1979.

[59] J.F. Ponge, G. Pérès, M. Guernion, N. Ruiz-Camacho, J. Cortet, C. Pernin, C. Villenave, R. Chaussod, F. Martin-Laurent, A. Bispo, and D. Cluzeau, „The impact of agricultural practices on soil biota: a regional study," Soil Biology and Biochemistry, vol. 67, pp. 271-284, 2013.

[60] J.A. Wallwork, „Ecology of soil animals. McGraw-Hill, England, 1970.

[61] R. Harrison, B. Strahm, and X. Yi, "Soil education and public awareness," Soils, plant growth and crop production, Encyclopedia of life support systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford. [Online]. Available: <http://www.eolss.net/>

[62] F. Tomić, F. Bašić, and S. Husnjak. "Značajke i uloge tala Varaždinske županije sa smjericama održivog gospodarenja poljoprivrednim zemljištem," Radovi Zavoda za znanstveni rad Varaždin, vol. 25, pp. 25-68, 2014.

[63] V. Kostović-Vranješ, M. Bulić, and D. Novoselić, „Izvanastavna aktivnost „kompostiranje "u promicanju obrazovanja za održivi razvoj," Školski vjesnik: časopis za pedagošku teoriju i praksu, vol. 65(Tematski broj), pp. 79-90, 2016.

[64] I. Slačanac, E. Munjiza, „Programski sadržaji razredne nastave i mogućnosti njihove realizacije u školskim vrtovima," Život i škola, vol. 17, no. 1, pp. 87-100, 2007.

[65] A. Subramaniam, „Garden-based learning in basic education: A historical review," Monograph, pp. 1-11, 2002. [Online]. Available: <http://fourhcyd.ucdavis.edu/publications/monograph.html>

- [66] D. Blair, „The child in the garden: An evaluative review of the benefits of school gardening,“ *The Journal of Environmental Education*, vol. 40, no. 2, pp. 15-38, 2009.
- [67] University of Dundee, From soil to sky, Future Learn, 2016. [Online]. Available: <https://www.futurelearn.com/courses/grow-from-soil-to-sky>
- [68] R. Bowker, P. Tearle, „Gardening as a learning environment: A study of children’s perceptions and understanding of school gardens as part of an international project,“ *Learning Environments Research*, vol. 10, no. 2, pp. 83-100, 2007.
- [69] C. D. Klemmer, T. M. Waliczek, and J. M. Zajicek, "Growing minds: The effect of a school gardening program on the science achievement of elementary students," *HortTechnology*, vol. 15, no. 3, pp. 448-452, 2005.
- [70] H. Konoshima, "Participation of school children in agricultural activities at school farms in Shiga Prefecture," *Horticulture in Human life, Culture and Environment*, vol. 391, pp. 217-222, 1994).
- [71] T. M. Waliczek, P. Logan, and J. M. Zajicek, "Exploring the impact of outdoor environmental activities on children using a qualitative text data analysis system," *HortTechnology*, vol. 13, no. 4, pp. 684-688, 2003.
- [72] M. Kaiser, "Alternative to therapy: Garden program." *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, vol. 5, no. 2, pp. 21-24, 1976.
- [73] J. A. Middleton, „A study of intrinsic motivation in the mathematics classroom: a personal constructs approach,“ *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 26, pp. 254–279, 1995.
- [74] D. H. Palmer, „Student interest generated during an inquiry skills lesson,“ *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 46, no. 2, pp. 147–165, 2009.
- [75] J. Thompson, K. Soyibo, „Effects of lecture, teacher demonstrations, discussions and practical work on 10th graders’ attitudes to chemistry and understanding of electrolysis,“ *Research in Science & Technological Education*, vol. 20, pp. 25–37, 2002.
- [76] J. W. Renner, M. R. Abraham, and H. H. Birnie, „Secondary school students’ beliefs about the physics laboratory,“ *Science Education*, vol. 69, pp. 649–663, 1985.
- [77] H. Vogt, A. Upmeier zu Belzen, T. Schröder, and I. Hoek, „Unterrichtliche Aspekte im Fach Biologie, durch die Unterricht aus Schülersicht als interessanter erachtet wird. [Aspects of biology education which make biology classes more interesting from a students’ perspective],“ *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, vol. 5, pp. 75–85, 1999.
- [78] Ž. Lukša, "Terenska nastava prirode i biologije u osnovnoj školi." *Educatio biologiae: časopis edukacije biologije*, vol. 1, no. 1, pp. 69-79, 2014.
- [79] L. G. Nemerow, "Do Classroom Games Improve Motivation and Learning?," *Teaching and Change* vol. 3, no. 4, pp. 356-66, 1996.
- [80] R. Garris, R. Ahlers, and J. E. Driskell, "Games, motivation, and learning: A research and practice model," *Simulation & gaming*, vol. 33, no. 4, pp. 441-467, 2002.
- [81] G. Glass, "Have You Considered Gamifying Your Classroom?," *Childhood Education*, vol. 94, no. 2. pp. 72-78, 2018.
- [82] M. A. Haigh, "Hands on–minds on": introducing openness into senior biology practical work,“ *Research in Science Education*, vol. 23, pp. 110–117, 1993.
- [83] J. A. Braun, "Cultivating an Integrated Curriculum: The School Garden," *Social Studies and the Young Learner*, vol. 1, no. 3, pp. 19-22, 1989.
- [84] E. Stetson, "The Big Green Schoolhouse," *Educational Leadership*, vol. 48, no.4, pp. 34-35, 1991.
- [85] Organisation for Economic Co-operation and Development, PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy, OECD publishing, Paris, 2016.
- [86] Nastavni plan i program za osnovnu školu, Republika Hrvatska, Ministarstvo znanosti obrazovanja i sporta, Zagreb, 2013.
- [87] J. Casti, „Complexification: Explaining a Paradoxical World Through the Science of Surprise,“ HarperCollins, New York, 1994.
- [88] J. Chen, L. Mohan, and C. W. Anderson, "Developing a K-12 learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems," *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Baltimore, MD, 2008.
- [89] M. Wiser, and C. L. Smith, „Learning and teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced,“ *International handbook of research on conceptual change*, pp. 205-39, 2008.
- [90] M. Stieff, and Wilensky, „Connected chemistry—Incorporating interactive simulations into the chemistry classroom,“ *Journal of Science Education and Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 285-302, 2003.
- [91] R. L. Coulson, P. J. Feltovich, and R. J. Spiro, "Foundations of a misunderstanding of the ultrastructural basis of myocardial failure: A reciprocation network of oversimplifications." *The Journal of Medicine and Philosophy*, vol. 14, no. 2, pp. 109-146, 1989.