

Učinci aktivnosti građanske znanosti na znanje o komarcima i razvoj istraživačkih vještina učenika

Irena Labak, Enrih Merdić, Nataša Bušić, Tea Gutić

Odjel za biologiju, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

ilabak@biologija.unios.hr; enrih@biologija.unios.hr; ngraovac@biologija.unios.hr; tea.gutic@biologija.unios.hr

SAŽETAK

Aktivnosti građanske znanosti u obrazovnom kontekstu sve se češće prepoznaju kao vrijedan pedagoški pristup jer učenicima omogućuju sudjelovanje u autentičnim istraživačkim procesima povezanim s problemima iz njihova neposrednog okruženja te pridonose razvoju prirodoslovne pismenosti. Cilj ovog istraživanja bio je ispitati učinke sudjelovanja učenika u aktivnostima građanske znanosti na znanje o komarcima, razvoj istraživačkih vještina i sposobnost transfera istraživačkog pristupa na novi biološki problem. Istraživanje je provedeno na prigodnom uzorku učenika osnovnih škola iz dviju hrvatskih županija, primjenom kvaziekperimentalnog pretest–posttest dizajna bez kontrolne skupine. Tijekom aktivnosti učenici su sudjelovali u postavljanju klopki za komarce, prikupljanju i bilježenju podataka te osnovnoj analizi rezultata. Učinci aktivnosti ispitani su pisanom provjerom znanja provedenom prije i nakon aktivnosti, pri čemu su zadaci bili razvrstani prema kognitivnim razinama te dodatnim zadacima u završnom testiranju kojima su procijenjene istraživačke vještine i sposobnost transfera. Podaci su analizirani deskriptivnom statistikom, t-testom sparenih uzoraka, korelacijskom i regresijskom analizom. Rezultati su pokazali statistički značajan porast znanja učenika o komarcima nakon sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti, uz visoku vrijednost veličine učinka (Cohenov $d = 0,99$). Pozitivni učinci zabilježeni su na više kognitivnih razina, pri čemu je napredak bio izraženiji na zadacima srednje kognitivne složenosti. Analiza dodatnih zadataka ukazala je na djelomičan, ali smislen razvoj istraživačkih vještina, dok su korelacijske i regresijske analize pokazale da je znanje učenika značajno povezano s razinom istraživačkih vještina i sposobnošću transfera istraživačkog pristupa. Zaključno, rezultati potvrđuju da aktivnosti građanske znanosti predstavljaju učinkovit didaktički pristup u nastavi biologije te imaju značajan potencijal za razvoj sadržajnog znanja i elemenata prirodoslovne pismenosti učenika u formalnom obrazovnom kontekstu.

ključne riječi: nastava biologije; prirodoslovna pismenost; istraživačko učenje; istraživački pristup

UVOD

Aktivnosti građanske znanosti (engl. *citizen science*) najčešće se definiraju kao sudjelovanje javnosti (građana) u znanstvenim istraživanjima (Bonney i sur., 2009a; Harrington, 2019; Shirk i sur., 2012)), pri čemu se u znanstvene procese uključuju osobe koje nisu profesionalno povezane sa znanstvenim institucijama (Haklay i sur., 2021). Takav se pristup primjenjuje u brojnim znanstvenim područjima radi prikupljanja velikih količina podataka, primjerice u istraživanjima bioraznolikosti (Bonney i sur., 2014; Theobald i sur., 2015) te znanstvenicima omogućuje prikupljanje podataka tijekom duljeg vremenskog razdoblja i na širem geografskom području nego što bi to bilo moguće bez sudjelovanja javnosti. Razina uključenosti sudionika u aktivnosti građanske znanosti može varirati, od sudjelovanja u prikupljanju podataka do aktivnog uključivanja u postavljanje istraživačkih pitanja i analizu rezultata (Berndt i Nitz, 2023; Christ i sur., 2022). Uz to, pojedine aktivnosti omogućuju sudionicima pristup relevantnim bazama podataka i povratne informacije o prikupljenim podacima, čime se dodatno potiče njihov angažman.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da aktivnosti građanske znanosti imaju značajan obrazovni potencijal jer mogu poticati razvoj različitih vještina, znanstvene pismenosti i osobnog razvoja sudionika, kao i

povećanje razine znanstvenog znanja i razumijevanja znanstvenih procesa (Phillips i sur., 2014; 2019). Pritom se ističe da je učenje kroz takve aktivnosti učinkovitije kada se pri uključivanju sudionika uzmu u obzir emocionalna, bihevioralna, kognitivna i socijalna iskustva koja prate njihovo sudjelovanje (Somerville i Wehn, 2022). Takav autentičan znanstveni pristup omogućuje sudionicima aktivno razumijevanje načina na koji se znanstvena znanja stvaraju i provjeravaju, čime se dodatno jača obrazovna vrijednost ovog pristupa (Bonney i sur., 2009b; Brossard i sur., 2005).

U obrazovnom kontekstu, aktivnosti građanske znanosti sve se češće prepoznaju kao vrijedan pedagoški pristup jer učenicima omogućuju aktivno sudjelovanje u istraživačkim procesima povezanim sa stvarnim problemima iz njihova neposrednog okruženja. Učenici pritom mogu sudjelovati ne samo u prikupljanju podataka, nego i u pojedinim fazama osmišljavanja istraživačkih aktivnosti, što doprinosi razvoju znanja, istraživačkih vještina i razumijevanja znanstvenog načina razmišljanja (Roy i sur., 2012). Posebno su značajne aktivnosti građanske znanosti usmjerene na okolišne i ekološke teme jer mogu utjecati na oblikovanje stavova prema prirodi, što ima važnu ulogu u obrazovanju za održivi razvoj (Branchini i sur., 2015; Chase i Levine, 2018). Iako obrazovni ishodi nisu uvijek primarni cilj ovih aktivnosti, istraživanja pokazuju da one mogu doprinijeti razvoju znanstvene pismenosti, povećanju svijesti o znanosti te porastu znanstvenog znanja učenika (Sackey i sur., 2024).

Takav obrazovni potencijal aktivnosti građanske znanosti u skladu je s ciljevima suvremenog prirodoslovnog obrazovanja u Republici Hrvatskoj. U kontekstu hrvatskog obrazovanja u nastavnom predmetu Biologija, prirodoslovna pismenost predstavlja središnju kompetenciju koja se razvija tijekom svih obrazovnih ciklusa, od osnovnoškolskog do visokoškolskog obrazovanja. Prirodoslovna pismenost obuhvaća sposobnost učenika da razumiju prirodne pojave i procese te da ih objašnjavaju primjenom znanstvenog načina razmišljanja. Razvija se kroz istraživačko učenje, pri čemu učenici postupno ovladavaju vještinama opažanja, postavljanja istraživačkih pitanja i hipoteza, prikupljanja i interpretacije podataka te donošenja zaključaka na temelju dobivenih rezultata. Važan dio prirodoslovne pismenosti čini i sposobnost interpretiranja znanstvenih informacija, korištenja znanstvenog jezika te kritičkog promišljanja izvora informacija. Osim toga, prirodoslovna pismenost uključuje razumijevanje prirodoslovnog pogleda na svijet, prema kojem su prirodne pojave objašnjive i predvidljive, kao i uvid u međusobni odnos znanosti, tehnologije i društva (Labak i sur., 2023; MZO, 2019).

Prema Bonney i sur. (2009a), aktivnosti građanske znanosti razlikuju se prema razini uključenosti sudionika u znanstveni proces. Razlikuju se kontributivne aktivnosti, u kojima znanstvenici osmišljavaju istraživanje, a sudionici uglavnom sudjeluju u prikupljanju podataka, kolaborativne aktivnosti, u kojima sudionici uz prikupljanje podataka sudjeluju i u pojedinim fazama analize ili osmišljavanja istraživačkih aktivnosti te zajednički osmišljene aktivnosti, u kojima volonteri i znanstvenici ravnopravno sudjeluju u svim fazama istraživačkog procesa. Iako se s povećanjem uključenosti sudionika često pretpostavlja smanjenje kontrole nad kvalitetom podataka, takve aktivnosti istodobno imaju veći obrazovni potencijal. Razina uključenosti sudionika u aktivnostima građanske znanosti ima pritom izravne implikacije za razvoj prirodoslovne pismenosti jer sudjelovanje u većem broju faza znanstvenog istraživanja omogućuje razvoj razumijevanja znanstvenih procesa, istraživačkih vještina i znanstvenog načina razmišljanja. Sudjelovanje u prikupljanju i analizi podataka, postavljanju istraživačkih pitanja te raspravi o rezultatima omogućuje učenicima učenje temeljeno na načelima znanstvene metodologije, što predstavlja temelj prirodoslovne pismenosti. U tom se kontekstu aktivnosti građanske znanosti

mogu promatrati kao učinkovit pedagoški pristup koji povezuje autentičnu znanstvenu praksu s ciljevima suvremenog prirodoslovnog obrazovanja.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da aktivnosti građanske znanosti mogu imati značajan učinak na znanje učenika iz biologije i prirodoslovlja, osobito kada su povezane s autentičnim problemima iz stvarnog okruženja. Empirijski nalazi potvrđuju da sudjelovanje u prikupljanju podataka, opažanju prirodnih pojava i analizi rezultata može dovesti do statistički značajnog porasta znanja o biološkim i okolišnim temama. Primjerice, Bedoya-Rodríguez i sur. (2024) pokazali su da primjena ovog pristupa, u kombinaciji s multimedijским didaktičkim materijalima, dovodi do značajnog povećanja znanja o bolestima koje prenose komarci, pri čemu sudionici nakon edukativne intervencije bolje razumiju ekološke i biološke aspekte vezane uz vektore bolesti. Takvi nalazi potvrđuju obrazovni potencijal aktivnosti građanske znanosti usmjerenih na javnozdravstveno relevantne teme. Ipak, dosadašnja literatura upućuje i na to da obrazovni ishodi nisu uvijek primarni cilj ovakvih aktivnosti. Sackey i sur. (2024) analizirali su aktivnosti građanske znanosti u Južnoj Africi te utvrdili da se u većini aktivnosti naglasak stavlja ponajprije na prikupljanje podataka, dok su obrazovni ciljevi rjeđe jasno definirani i sustavno vrednovani. Iako se u literaturi često navode porast svijesti o okolišu i bolje razumijevanje znanstvenih procesa kao potencijalni ishodi sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti, autori ističu potrebu za jasnijim uključivanjem obrazovnih ciljeva i formalnih metoda procjene kako bi se pouzdanije utvrdio njihov učinak na učenje sudionika. U istraživanjima koja ispituju doprinos aktivnosti građanske znanosti razvoju temeljnih razumijevanja znanosti i znanstvene pismenosti najčešće se analiziraju varijable poput predmetnog znanja, stavova prema znanosti i/ili okolišu te okolišno odgovornog ponašanja, osobito u aktivnostima s ekološkom ili okolišnom tematikom (Berndt i Nitz, 2023; Gräber i sur., 2002). Kada je riječ o predmetnom znanju kao ishodu ovakvih aktivnosti, u literaturi se razlikuju različite vrste znanja: sadržajno znanje, koje je usko vezano uz kontekst same aktivnosti (npr. znanje o kukcima) te razumijevanje znanosti ili znanje o znanosti, koje ima epistemološku dimenziju i često se operacionalizira kroz koncept prirode znanosti (Lederman, 2007; Urhahne i sur., 2011).

Unatoč rastućem broju istraživanja koja potvrđuju obrazovni potencijal aktivnosti građanske znanosti, u Hrvatskoj postoji tek nekoliko empirijskih radova koji se njima dotiču (npr. Mumelaš, 2025). Ne postoje istraživanja koja se bave aktivnostima građanske znanosti u kontekstu obrazovnih postignuća iz biologije, kao ni ona usmjerena na istraživanje komaraca ili na ispitivanje u kojoj je mjeri stečeno znanje povezano sa sposobnošću primjene istraživačkog pristupa u novim biološkim kontekstima. Stoga je cilj ovog rada bio ispitati učinke sudjelovanja učenika u aktivnostima građanske znanosti na znanje o komarcima, razvoj istraživačkih vještina te sposobnost transfera istraživačkog pristupa na novi biološki problem.

Specifični ciljevi istraživanja bili su istražiti:

- (i) postoji li promjena u znanju učenika o komarcima nakon sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti?
- (ii) kakav je odnos između znanja učenika, istraživačkih vještina i sposobnosti transfera istraživačkog pristupa nakon sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti?

Na temelju navedenih specifičnih ciljeva istraživanja postavljene su sljedeće istraživačke hipoteze:

- (i) učenici će nakon sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti ostvariti statistički značajno više rezultate na testu znanja o komarcima u odnosu na rezultate prije aktivnosti

(ii) viša razina znanja učenika nakon sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti bit će pozitivno povezana s razinom istraživačkih vještina i sposobnošću transfera istraživačkog pristupa.

METODE

Uzorak

U istraživanju je sudjelovalo ukupno 180 učenika 7. razreda iz pet osnovnih škola od kojih su tri bile iz Osječko-baranjske županije, a dvije iz Vukovarsko-srijemske županije. Uzorak je formiran kao prigodni uzorak.

Dizajn istraživanja i provedba aktivnosti građanske znanosti

Istraživanje je provedeno primjenom pretest–posttest dizajna s jednom skupinom, pri čemu je razina znanja učenika procijenjena pisanom provjerom znanja, koja je provedena u dva navrata: prije provedbe aktivnosti građanske znanosti (pretest) i nakon njezina završetka (posttest). Nakon pretestiranja učenici su sudjelovali u strukturiranoj aktivnosti građanske znanosti usmjerenoj na praćenje komaraca u lokalnom okolišu. Provedba aktivnosti započela je uvodnim dijelom u kojem su učenici, uz vodstvo učitelja, upoznati s ciljevima aktivnosti i osnovnim biološkim obilježjima komaraca. U tu svrhu korištene su unaprijed pripremljene prezentacije i videozapisi kojima su učenicima objašnjeni životni ciklus komaraca, pogodna mjesta i okolišni uvjeti za polaganja jaja te razlozi praćenja njihove brojnosti. Učenici su zatim, prema dobivenim uputama, sudjelovali u postavljanju klopki za komarce u svojem okruženju. Nakon unaprijed određenog vremenskog razdoblja od tjedan dana, učenici su prikupljali uzorke iz klopki, pregledavali pločice pomoću lupe te brojili jajašca komaraca. Dobiveni podatci bilježeni su u unaprijed pripremljene tablice, a učenici su, uz potporu učitelja, analizirali rezultate i raspravljali o uočenim obrascima. Po završetku aktivnosti građanske znanosti provedeno je posttestiranje čime je omogućena usporedba rezultata učenika prije i nakon sudjelovanja u aktivnosti.

Karakteristike instrumenata

Za procjenu znanja učenika o komarcima korištena je pisana provjera znanja konstruirana za potrebe ovog istraživanja. Pisana provjera znanja u pretestiranju obuhvaćala je ukupno 11 zadataka raspoređenih prema kognitivnim razinama po Crooksovoj taksonomiji (1988) u kojoj prva razina predstavlja reproduktivno znanje, druga konceptualno razumijevanje i treća rješavanje problema. U primijenjenoj pisanoj provjeri jedan zadatak ispitao je znanje na prvoj kognitivnoj razini, šest zadataka na drugoj kognitivnoj razini te četiri zadatka na trećoj kognitivnoj razini. U posttestiranju je zadržan isti broj i struktura zajedničkih zadataka, uz dodavanje dvaju zadataka treće kognitivne razine, tako da je pisana provjera znanja korištena u posttestiranju sadržavala jedan zadatak prve kognitivne razine, šest zadataka druge kognitivne razine i šest zadataka treće kognitivne razine.

Zadaci druge kognitivne razine u pisanoj provjeri znanja bili su usmjereni na razumijevanje i primjenu znanja o biologiji komaraca u kontekstu konkretnih situacija. Učenici su u tim zadacima trebali povezivati biološke činjenice s okolišnim uvjetima, tumačiti uzročno-posljedične odnose te primijeniti stečena znanja na problemske zadatke temeljene na svakodnevnim primjerima. Zadaci su uključivali analizu uvjeta pogodnih za razvoj ličinki komaraca, objašnjavanje bioloških obilježja poput disanja ličinki i njihove povezanosti s ponašanjem u vodi, razumijevanje uloge stajaće vode i prirodnih neprijatelja u regulaciji populacije komaraca, kao i primjenu znanja o čimbenicima koji utječu na privlačenje komaraca i izbor prikladnih klopki i mjesta uzorkovanja. Takvi zadaci zahtijevali su od učenika da prepoznaju relevantne informacije, interpretiraju ih i primijene u novom kontekstu, bez potrebe za reprodukcijom izoliranih definicija.

Zadaci treće kognitivne razine u pisanoj provjeri znanja bili su usmjereni na analizu podataka, interpretaciju grafičkih prikaza te donošenje zaključaka i odluka na temelju dostupnih informacija. Učenici su u tim zadacima trebali tumačiti odnose između brojnosti komaraca i različitih čimbenika okoliša, poput godišnjeg doba, temperature i doba dana te povezivati dobivene obrasce s biološkim obilježjima komaraca. Dio zadataka zahtijevao je analizu grafova, usporedbu trendova i procjenu približnih vrijednosti, dok su drugi zadaci uključivali primjenu znanja u problemskim situacijama, primjerice predlaganje preventivnih mjera ili objašnjavanje promjena u brojnosti komaraca na temelju opisanih uvjeta. Takvi zadaci od učenika su zahtijevali integraciju više izvora informacija, logičko zaključivanje i primjenu znanja u novim kontekstima.

U posttestu su, uz zajedničke zadatke, uključena i dva dodatna zadatka usmjerena na procjenu istraživačkih vještina i sposobnosti transfera istraživačkog pristupa. Prvi dodatni zadatak bio je temeljen na opisanoj istraživačkoj situaciji vezanoj uz postavljanje klopki za komarce u različitim okolišnim uvjetima, pri čemu su učenici trebali formulirati istraživačku hipotezu, identificirati i klasificirati varijable te donijeti zaključke na temelju prikazanih podataka. Time se procjenjivala sposobnost razumijevanja osnovnih elemenata istraživačkog procesa, uključujući odnos između neovisnih i ovisnih varijabli te interpretaciju rezultata jednostavnog istraživanja. Drugi dodatni zadatak bio je usmjeren na transfer istraživačkog pristupa na novi biološki problem, pri čemu su učenici trebali primijeniti sličan način razmišljanja na temu ambrozije. U tom zadatku učenici su uspoređivali istraživanje komaraca i ambrozije, prepoznavali zajedničke i različite elemente istraživačkih postupaka te razmatrali mjere za smanjenje negativnog utjecaja ambrozije na zdravlje ljudi. Time se ispitivala sposobnost povezivanja znanja, analogijskog razmišljanja i primjene istraživačkih vještina u novom kontekstu koji nije izravno obrađen tijekom aktivnosti građanske znanosti.

Unutarnja konzistentnost pisane provjere je provjerena izračunom Cronbachova koeficijenta alfa na temelju svih zajedničkih stavki testa. Pouzdanost je procijenjena na cjelokupnom skupu podataka kako bi se dobio uvid u stabilnost instrumenta korištenog za pretest i posttest mjerenje znanja. Dodatno je provedena analiza indeksa težine zadataka, pri čemu je za svako pitanje izračunan udio točno ostvarenih bodova u odnosu na maksimalan broj bodova. Indeksi težine korišteni su kako bi se procijenila primjerenost težine zadataka i kvaliteta testa kao mjernog instrumenta (Cohen et al., 2018; Taber, 2018).

Obrada podataka i statistička analiza

Podaci prikupljeni u ovom istraživanju obrađeni su pomoću statističkog programa IBM SPSS Statistics (verzija 26). Prije provođenja inferencijalnih analiza izračunati su osnovni deskriptivni pokazatelji (aritmetička sredina i standardna devijacija) za sve relevantne varijable.

Za testiranje prve hipoteze, kojom se ispitivala promjena znanja učenika nakon sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti, korišten je t-test za zavisne (sparene) uzorke. Ova analiza primijenjena je kako na ukupni rezultat testa znanja, tako i na rezultate zadataka grupiranih prema kognitivnim razinama prema Crooksu. Uz testiranje statističke značajnosti razlika, izračunate su i veličine učinka (Cohenov d) kako bi se procijenila jačina utjecaja aktivnosti na znanje učenika.

Za dodatna pitanja koja su bila uključena samo u posttest, a kojima su ispitivane istraživačke vještine učenika i sposobnost transfera istraživačkog pristupa, provedena je deskriptivna statistička analiza. Budući da za ove varijable nije postojao usporedivi pretest, rezultati su prikazani putem aritmetičkih sredina i standardnih devijacija za pojedine dijelove zadataka i za ukupne rezultate.

Kako bi se ispitao odnos između znanja učenika, istraživačkih vještina i sposobnosti transfera znanja, provedena je Pearsonova korelacijska analiza. Korelacijama je analizirana povezanost rezultata na pretestu i posttestu znanja s rezultatima na zadacima koji ispituju istraživačke vještine i transfer istraživačkog pristupa.

Na temelju utvrđenih korelacija, za testiranje druge hipoteze provedene su jednostavne linearne regresijske analize. U regresijskim modelima posttest znanje korišteno je kao prediktorska varijabla, dok su istraživačke vještine i transfer znanja analizirani kao zavisne varijable u odvojenim modelima. Regresijskim analizama procijenjen je doprinos znanja objašnjenju varijance istraživačkih vještina i sposobnosti transfera znanja. Sve statističke analize provedene su uz razinu značajnosti $p < 0,05$.

REZULTATI

Analiza unutarnje konzistentnosti pokazala je da test znanja ima zadovoljavajuću pouzdanost, s vrijednošću Cronbachova koeficijenta alfa $\alpha = 0,73$. Dobivena vrijednost upućuje na prihvatljivu unutarnju konzistentnost autorskog instrumenta koji obuhvaća zadatke različite težine i različitih kognitivnih razina. Indeksi težine zadataka u pretestu kretali su se u rasponu od 0,30 do 0,70, što upućuje na to da su zadaci bili pretežito srednje težine. Ista raspodjela zabilježena je i u posttestu, gdje su indeksi težine za zajednička pitanja također bili u rasponu od 0,30 do 0,70, što sugerira da su zadaci zadržali odgovarajuću razinu težine te ostali prikladni za razlikovanje učenika različitih razina postignuća.

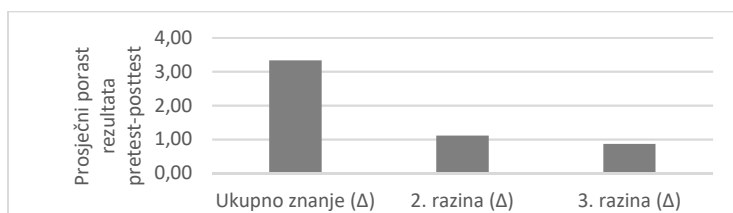
Rezultati t-testa sparenih uzoraka ukazuju na statistički značajan porast znanja učenika nakon sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti (Tablica 1). Učenici su na posttestu ostvarili znatno više bodova ($M = 15,88$; $SD = 3,59$) u odnosu na pretest ($M = 12,54$; $SD = 3,64$), a utvrđena razlika bila je visoko statistički značajna, $t(179) = -13,30$, $p < 0,001$. Prosječni porast iznosio je 3,34 boda (Slika 1), uz veliku veličinu učinka (Cohenov $d = 0,99$), što upućuje na snažan obrazovni učinak provedene aktivnosti. Kako bi se dodatno ispitao učinak aktivnosti na različite razine kognitivnih procesa, provedena je analiza rezultata prema kognitivnim razinama prema Crooksu. U zadacima koji ispituju 2. kognitivnu razinu, koja obuhvaća razumijevanje i primjenu znanja, također je zabilježen statistički značajan napredak učenika (Tablica 1).

Tablica 1. Deskriptivni pokazatelji rezultata učenika prije i poslije aktivnosti građanske znanosti u ukupnom znanju i prema kognitivnim razinama

N = 180	Mjerenje	M	SD
Ukupno znanje	Pretest	12,54	3,64
	Posttest	15,88	3,59
2. kognitivna razina	Pretest	5,56	1,78
	Posttest	6,67	1,89
3. kognitivna razina	Pretest	5,77	2,37
	Posttest	6,64	2,34

Napomena. M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija.

Učenici su na posttestu ($M = 6,67$; $SD = 1,89$) ostvarili više bodova nego na pretestu ($M = 5,56$; $SD = 1,78$), a t-test sparenih uzoraka potvrdio je značajnost razlike, $t(179) = -6,75$, $p < 0,001$. Prosječni porast iznosio je 1,11 bodova (Slika 1), uz srednje veliku veličinu učinka (Cohenov $d = 0,52$). Sličan obrazac, iako s nešto manjim intenzitetom, uočen je i u zadacima koji ispituju 3. kognitivnu razinu, povezanu s analizom i vrednovanjem. Učenici su i na ovoj razini ostvarili statistički značajno više bodova na posttestu ($M = 6,64$; $SD = 2,34$) u usporedbi s pretestom ($M = 5,77$; $SD = 2,37$), što je potvrđeno t-testom sparenih uzoraka, $t(179) = -5,88$, $p < 0,001$. Prosječni porast iznosio je 0,87 bodova (Slika 1), uz srednje veliku veličinu učinka (Cohenov $d = 0,44$).



Slika 1. Prosječni porast rezultata učenika (posttest – pretest) na ukupnom znanju i kognitivnim razinama

Istraživačke vještine učenika procijenjene su zadatkom sastavljenim od četiri dijela koji ispituju postavljanje hipoteze, identifikaciju i klasifikaciju varijabli te zaključivanje iz podataka. Deskriptivni pokazatelji (Tablica 2) upućuju na to da su učenici bili najuspješniji u postavljanju hipoteze ($M = 0,89$; $SD = 0,32$), dok su najveće poteškoće uočene u identifikaciji varijabli ($M = 0,25$; $SD = 0,43$). Složeniji dijelovi zadatka, koji uključuju klasifikaciju varijabli i zaključivanje, pokazali su umjerenu razinu uspješnosti. Ukupno gledano, učenici su na zadatku istraživačkih vještina ostvarili prosječno 3,60 bodova od maksimalnih 9.

Tablica 2. Deskriptivni pokazatelji istraživačkih vještina učenika (posttest)

Istraživačka vještina	N	Max bodova	M	SD
Postavljanje hipoteze	180	1	0,89	0,32
Identifikacija varijabli	180	1	0,25	0,43
Klasifikacija varijabli	180	3	1,04	1,20
Zaključivanje	180	4	1,48	1,26
Ukupna istraživačka vještina	180	9	3,60	2,24

Napomena. M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija.

Transfer znanja i istraživačkog pristupa procijenjen je zadatkom koji je zahtijevao primjenu iskustava iz istraživanja komaraca na problem ambrozije. Deskriptivni pokazatelji (Tablica 3) pokazuju da su učenici u prosjeku ostvarili 2,70 boda od mogućih 6, uz relativno veliku varijabilnost rezultata ($SD = 1,86$). Učenici su bili uspješniji u procjeni učinkovitih mjera za smanjenje problema ($M = 1,19$; $SD = 0,88$) nego u prepoznavanju zajedničkih obilježja istraživanja komaraca i ambrozije ($M = 1,50$; $SD = 1,30$), što upućuje na to da je konceptualni transfer istraživačkog pristupa zahtjevniji od primjene pojedinačnih rješenja.

Tablica 3. Deskriptivni pokazatelji zadatka koji ispituje transfer znanja i istraživačkog pristupa

Istraživačka vještina	N	Max bodova	M	SD
Prepoznavanje zajedničkih obilježja istraživanja (komarci-ambrozija)	180	4	1,50	1,30
Procjena učinkovitih mjera za smanjenje problema	180	2	1,19	0,88
Ukupno: Transfer istraživačkog pristupa	180	6	2,70	1,86

Napomena. M – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija.

Kako bi se ispitao odnos između znanja učenika i njihovih istraživačkih vještina te sposobnosti transfera znanja, provedena je Pearsonova korelacijska analiza (Tablica 4). Rezultati su pokazali umjerenu do jaku pozitivnu povezanost između rezultata na pretestu i posttestu znanja ($r = 0,57$, $p < 0,001$), što upućuje na stabilnost individualnih razlika u znanju. Nadalje, utvrđena je umjerena pozitivna povezanost između znanja i istraživačkih vještina, pri čemu je povezanost bila izraženija za posttest znanje ($r = 0,43$, $p < 0,001$) nego za pretest znanje ($r = 0,37$, $p < 0,001$). Sličan obrazac uočen je i u odnosu znanja i transfera istraživačkog pristupa, gdje su korelacije također bile umjerene i statistički značajne ($0,40 \leq r \leq 0,43$, $p < 0,001$). Također, istraživačke vještine pokazale su umjerenu pozitivnu povezanost s transferom znanja ($r = 0,45$, $p < 0,001$), što upućuje na to da su učenici s razvijenijim istraživačkim vještinama uspješniji u primjeni istraživačkog pristupa u novom kontekstu.

Tablica 4. Povezanost između znanja učenika i njihovih istraživačkih vještina te sposobnosti transfera znanja

Varijabla	1	2	3	4
1. Pretest znanje	—			
2. Posttest znanje	0,57***	—		
3. Istraživačke vještine (Z12)	0,37***	0,43***	—	
4. Transfer znanja (Z13)	0,40***	0,43***	0,45***	—

Jednostavnom linearnom regresijskom analizom ispitan je doprinos posttest znanja objašnjenju istraživačkih vještina učenika (Tablica 5). Regresijski model pokazao se statistički značajnim, $F(1, 178) = 39,27, p < 0,001$, pri čemu je posttest znanje objasnilo 18 % varijance istraživačkih vještina ($R^2 = 0,18$). Posttest znanje pokazalo se značajnim prediktorom istraživačkih vještina ($\beta = 0,43, p < 0,001$), što upućuje na to da učenici s višom razinom znanja ostvaruju i više rezultate na zadacima koji ispituju istraživačke vještine.

Tablica 5. Regresijski model za istraživačke vještine

Model	β
Posttest znanje	0,425***
$R^2 = 0,181$	
$F(1,178) = 39,27***$	

Napomena. Prikazane su standardizirane regresijske težine (β). ** $p < 0,001$.

Jednostavnom linearnom regresijskom analizom ispitan je doprinos posttest znanja objašnjenju uspješnosti učenika u zadatku koji ispituje transfer istraživačkog pristupa na novi biološki problem (ambrozija) (Tablica 6). Regresijski model pokazao se statistički značajnim, $F(1, 178) = 40,95, p < 0,001$, pri čemu je posttest znanje objasnilo 19 % varijance rezultata na zadatku transfera znanja ($R^2 = 0,19$). Posttest znanje pokazalo se značajnim prediktorom transfera znanja ($\beta = 0,43, p < 0,001$), što upućuje na to da učenici s višom razinom znanja uspješnije primjenjuju istraživački pristup u novom kontekstu.

Tablica 6. Regresijski model za transfer znanja (ambrozija)

Model	β
Posttest znanje	0,432***
$R^2 = 0,187$	
$F(1,178) = 40,95***$	

Napomena. Prikazane su standardizirane regresijske težine (β). ** $p < 0,001$.

RASPRAVA

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da sudjelovanje učenika u aktivnostima građanske znanosti ima značajan i višestruk obrazovni učinak. Nakon provedene aktivnosti zabilježen je statistički značajan porast znanja učenika o komarcima, uz veliku veličinu učinka, što upućuje na snažan potencijal aktivnosti građanske znanosti u usvajanju specifičnih bioloških sadržaja koji nisu uobičajeni dio redovite nastave biologije. Analiza rezultata prema kognitivnim razinama pokazala je da su pozitivni učinci prisutni na različitim razinama kognitivnih procesa, pri čemu je porast bio izraženiji na drugoj kognitivnoj razini prema Crooksu, dok su složeniji procesi, poput analize i vrednovanja, pokazali umjereniji napredak. Dodatno, rezultati zadataka kojima su ispitivane istraživačke vještine i sposobnost transfera istraživačkog pristupa ukazuju na djelomičan, ali smislen razvoj ključnih elemenata istraživačkog učenja. Utvrđene korelacije i regresijske analize potvrđuju da je znanje stečeno nakon aktivnosti značajno povezano s razinom istraživačkih vještina i sposobnošću primjene istraživačkog pristupa u novom kontekstu, iako ono ne objašnjava u potpunosti razvoj tih složenih kompetencija.

Zabilježeni porast znanja može se objasniti autentičnošću provedenih aktivnosti građanske znanosti. Učenici su bili aktivno uključeni u postavljanje klopki za komarce, prikupljanje uzoraka te bilježenje i analizu podataka, čime su sudjelovali u stvarnom istraživačkom procesu povezanom s problemima iz vlastitog okoliša. Takav pristup omogućio je učenje temeljeno na neposrednom iskustvu i radu s

konkretnim podacima, za razliku od usvajanja znanja u izoliranom školskom kontekstu. Dobiveni rezultati potvrđuju da i relativno kratke, ali smisleno osmišljene aktivnosti građanske znanosti mogu imati snažan učinak na razumijevanje bioloških sadržaja, što je u skladu s nalazima ranijih istraživanja provedenih u školskom kontekstu (Christ i sur., 2022; Berndt i Nitz, 2023).

Posebno je važno istaknuti da su pitanja kojima se ispitalo znanje i razumijevanje biologije komaraca bila izravno povezana s iskustvima učenika tijekom aktivnosti, poput promatranja uvjeta razvoja ličinki i čimbenika koji utječu na njihovu brojnost. Takva povezanost između iskustva i ispitivanog sadržaja vjerojatno je doprinijela boljem razumijevanju uzročno-posljedičnih odnosa, što se očitovalo u izraženijem napretku na zadacima druge kognitivne razine. Sudjelovanje u opažanju, prikupljanju podataka i raspravi o rezultatima omogućilo je učenicima smisleno povezivanje teorijskih pojmova s praksom, što je osobito važno za razumijevanje odnosa između organizama i okoliša. Slična povezanost između stečenog znanja i sudjelovanja u aktivnostima građanske znanosti utvrđena je i u istraživanju koje su proveli Christ i sur. (2022), u kojem je sudjelovanje učenika u aktivnosti praćenja bumbara rezultiralo značajnim porastom znanja o vrstama bubamara, ekosustavima i problemu opadanja brojnosti kukaca. Autori pretpostavljaju da je najveći porast znanja ostvaren ponajprije na razini temeljnih bioloških sadržaja, što je u skladu s karakterom aktivnosti. Uz porast sadržajnog znanja, zabilježen je i napredak u sposobnosti učenika da prepoznaju i identificiraju bumbare, što se može povezati s duljim boravkom na otvorenom prostoru i ponavljanim promatranjem različitih vrsta bumbara i divljih pčela. Sličan porast znanja kao rezultat sudjelovanja u aktivnostima praćenja pčela zabilježili su i Ganzevoort i van den Born (2021).

Rezultati koji se odnose na istraživačke vještine i sposobnost transfera znanja ukazuju na djelomičan, ali očekivan razvoj viših kognitivnih procesa. Učenici su pokazali veću uspješnost u pojedinim aspektima istraživačkog rada, poput postavljanja hipoteze i zaključivanja na temelju podataka, dok su veće poteškoće uočene u identifikaciji varijabli i prijenosu istraživačkog pristupa na novi biološki problem. Takav obrazac rezultata u skladu je s nalazima ranijih istraživanja koja pokazuju da su istraživačke i transferne vještine složene kompetencije koje zahtijevaju dugotrajnije, sustavno vođene i višekratne istraživačke aktivnosti (Phillips i sur., 2019). Umjerene vrijednosti objašnjene varijance u regresijskim analizama dodatno potvrđuju da sadržajno znanje predstavlja važan, ali ne i jedini čimbenik razvoja istraživačkih kompetencija.

Dobiveni rezultati u skladu su s nalazima dosadašnjih istraživanja o obrazovnim učincima aktivnosti građanske znanosti, koja ukazuju na nekonzistentne učinke ovisno o vrsti znanja koja se ispituje. Iako većina istraživanja izvještava o porastu sadržajnog znanja sudionika, osobito u kontekstu bioloških i okolišnih tema, učinci na razumijevanje znanstvenih procesa i znanstvenog načina razmišljanja znatno su varijabilniji. Brojna istraživanja potvrđuju porast sadržajnog znanja sudionika u aktivnostima građanske znanosti, primjerice znanja o kukcima i drugim organizmima (Haywood i Beyond, 2016; Sickler i sur., 2014). Nasuprot tome, nalazi koji se odnose na razumijevanje znanosti i znanstvene pismenosti nisu jednoznačni. Trumbull i sur. (2000) pokazali su, analizom povratnih informacija sudionika, da je velik dio sudionika pokazivao znanstveni način razmišljanja, što su autori interpretirali kao doprinos razvoju znanstvene pismenosti. S druge strane, Evans i sur. (2005) u istraživanju provedenom u kontekstu praćenja ptica nisu utvrdili napredak u razumijevanju znanstvene metode, iako je zabilježen porast sadržajnog znanja. Slični rezultati dobiveni su i u istraživanjima temeljenima na samoprocjenama, koja su pokazala tek blagi porast sadržajnog znanja, bez promjena u razumijevanju znanosti (Land-Zandstra i sur., 2016). Studije koje su koristile pretest–posttest dizajn

također ne donose jedinstvene zaključke, jer nisu sve utvrdile porast razumijevanja znanosti kod sudionika (Krach i sur., 2019). Takav obrazac nalaza u potpunosti je u skladu s rezultatima ovog istraživanja, u kojem je zabilježen snažan porast znanja o komarcima kao oblika sadržajnog znanja, dok su složenije istraživačke vještine i sposobnost transfera istraživačkog pristupa pokazale umjereniji napredak.

Provedene aktivnosti građanske znanosti mogu se dodatno interpretirati u okviru Haklayeve četverorazinske klasifikacije razina sudjelovanja.- Prva razina, *crowdsourcing* (masovno prikupljanje podataka), odnosi se na projekte u kojima sudionici sudjeluju isključivo u prikupljanju podataka, bez daljnjeg uključivanja u znanstveno istraživanje. Druga razina, *distributed intelligence* (distribuirana inteligencija), obuhvaća projekte u kojima se sudionike prije prikupljanja i tumačenja podataka poučava osnovnim vještinama. Na trećoj razini, *participatory science* (participativna znanost), građani su aktivnije uključeni u definiranje istraživačkog problema i provođenje prikupljanja podataka, dok četvrta i najviša razina, *extreme citizen science* (ekstremna građanska znanost), omogućuje sudionicima uključivanje u sve faze istraživačkog procesa, uključujući i analizu podataka. Aktivnost provedena u ovom istraživanju ponajprije odgovara razini *distributed intelligence*, budući da su učenici prije provedbe aktivnosti bili educirani o ciljevima i postupcima istraživanja te su sudjelovali u prikupljanju i osnovnoj interpretaciji podataka. Iako učenici nisu sudjelovali u definiranju istraživačkog pitanja niti u osmišljavanju metodologije, uočeni su i pojedini elementi razine *participatory science*, osobito u fazi rasprave o rezultatima i zaključivanja. Takva razina uključenosti sudionika u skladu je s dobivenim rezultatima, koji upućuju na značajan porast sadržajnog znanja, ali umjeren razvoj složenijih istraživačkih vještina, za koje je prema literaturi potrebna dugotrajnija i intenzivnija uključenost u istraživački proces.

Dobiveni rezultati mogu se dodatno interpretirati u svjetlu teorija istraživačkog učenja. Bonneyjeva tipologija aktivnosti građanske znanosti (Bonney i sur., 2009a) dobro se podudara s razlikovanjem jednostavnijih istraživačkih zadataka i autentičnih znanstvenih istraživanja u nastavi prirodoslovlja, kako ih opisuju Chinn i Malhotra (2002). Autori ističu da kognitivno zahtjevniji i autonomniji oblici istraživanja dovode do dubljeg razumijevanja znanstvenog rada i razvoja složenijih istraživačkih kompetencija. U tom se kontekstu provedena aktivnost građanske znanosti može smjestiti između jednostavnijih istraživačkih zadataka i autentične znanstvene prakse, što može objasniti izražen porast sadržajnog znanja, ali umjeren razvoj složenijih istraživačkih vještina i sposobnosti transfera.

Nadalje, valja uzeti u obzir da školski razredi predstavljaju heterogene skupine učenika s obzirom na predznanje, interese i motivaciju, pri čemu sudjelovanje u aktivnostima građanske znanosti u školskom kontekstu nije nužno dobrovoljno. Iako se ovo istraživanje nije bavilo izravnim utjecajem motivacijskih čimbenika na ishode učenja, važno je uzeti ih u obzir pri interpretaciji rezultata. Aktivnosti građanske znanosti u školskom kontekstu razlikuju se od drugih oblika takvih aktivnosti jer sudjelovanje učenika, osobito kada u aktivnosti sudjeluje cijeli razred, nije nužno dobrovoljno niti se uvijek odvija u slobodno vrijeme. Dok volonteri koji se samoinicijativno uključuju u ove aktivnosti često čine selektivan uzorak sudionika s izraženim interesom za temu i visokom razinom motivacije, školske skupine sudionika znatno su heterogenije s obzirom na interese, motivaciju i predznanje, što može utjecati na obrazovne ishode (Berndt i Nitz, 2023). Upravo zbog toga u istraživanjima aktivnosti građanske znanosti u školskom kontekstu najčešće se analiziraju varijable poput predmetnog znanja i elemenata znanstvene pismenosti, koje se smatraju prikladnijim pokazateljima obrazovnih učinaka nego klasične mjere angažmana sudionika korištene u izvanškolskim projektima građanske znanosti.

Važno je istaknuti nekoliko ograničenja provedenog istraživanja. Prije svega, korišten je prigodni uzorak učenika iz škola uključenih u provedbu aktivnosti građanske znanosti, pri čemu sudionici nisu bili nasumično odabrani. Takav uzorak ograničava mogućnost generalizacije dobivenih rezultata na širu populaciju učenika. Nadalje, istraživanje nije uključivalo kontrolnu skupinu, zbog čega se uočene promjene u znanju i istraživačkim vještinama ne mogu s potpunom sigurnošću pripisati isključivo sudjelovanju u aktivnostima građanske znanosti, već je moguće da su na rezultate utjecali i drugi čimbenici. U budućim istraživanjima bilo bi poželjno uključiti kontrolnu skupinu učenika koji ne sudjeluju u aktivnostima građanske znanosti, već prate redovni nastavni program, čime bi se omogućila jasnija procjena učinaka ove vrste aktivnosti. Dodatno, iako je pisana provjera znanja obuhvatila ključne sadržaje vezane uz biologiju komaraca, nije bilo moguće obuhvatiti sve aspekte tog tematskog područja, pa dobiveni rezultati odražavaju prije svega promjene u odabranim, za aktivnost relevantnim sadržajima. Razvoj istraživačkih vještina i sposobnosti transfera istraživačkog pristupa procijenjen je na temelju jednokratnog završnog mjerenja, što ne omogućuje uvid u dugoročnu stabilnost i održivost stečenih kompetencija. Za pouzdaniju procjenu trajnosti učinaka aktivnosti građanske znanosti bilo bi potrebno provesti naknadna mjerenja nakon određenog vremenskog razdoblja. Naposljetku, sudjelovanje učenika u aktivnostima građanske znanosti odvijalo se u okviru redovne nastave, što znači da sudjelovanje nije bilo dobrovoljno te da su učenici činili heterogenu skupinu s obzirom na predznanje, interese i motivaciju. Takva heterogenost mogla je dodatno utjecati na varijabilnost obrazovnih ishoda, osobito u području složenijih istraživačkih kompetencija. Unatoč navedenim ograničenjima, dosljednost rezultata, velika veličina učinka u području sadržajnog znanja te utvrđena povezanost između znanja, istraživačkih vještina i sposobnosti transfera upućuju na to da aktivnosti građanske znanosti predstavljaju vrijedan i metodološki opravdan didaktički pristup u nastavi biologije.

ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje pokazalo je da aktivnosti građanske znanosti predstavljaju učinkovit didaktički pristup u nastavi biologije, s jasno vidljivim pozitivnim učincima na znanje učenika o komarcima te umjerenim, ali smislenim doprinosom razvoju istraživačkih vještina i sposobnosti transfera istraživačkog pristupa. Sudjelovanje učenika u autentičnim istraživačkim aktivnostima povezanim s problemima iz neposrednog okoliša omogućilo je značajan porast sadržajnog znanja na razini razumijevanja i primjene, dok su složenije istraživačke kompetencije zahtijevale dublju i dugotrajniju uključenost u istraživački proces. Dobiveni rezultati potvrđuju obrazovni potencijal aktivnosti građanske znanosti za razvoj prirodoslovne pismenosti te upućuju na njihovu vrijednost u kontekstu suvremene nastave biologije usmjerene na istraživačko učenje, održivi razvoj i povezivanje znanstvenih sadržaja sa stvarnim životnim situacijama. Iako su potrebna daljnja istraživanja s kontrolnim skupinama i longitudinalnim praćenjem učinaka, ovo istraživanje pruža empirijsku osnovu za sustavnije uključivanje aktivnosti građanske znanosti u formalno obrazovanje.

METODIČKI ZNAČAJ

Rezultati ovog istraživanja imaju značaj za nastavu biologije i prirodoslovnog područja općenito, jer pokazuju da se aktivnosti građanske znanosti mogu učinkovito integrirati u redovnu nastavu kao oblik istraživačkog učenja. Sudjelovanje učenika u stvarnim istraživačkim aktivnostima, poput postavljanja klopki za komarce, prikupljanja i analize podataka, omogućuje učenje temeljeno na autentičnim problemima iz neposrednog okoliša učenika. Takav pristup pridonosi boljem razumijevanju bioloških sadržaja koji nisu nužno dio standardnog nastavnog programa, ali su visoko relevantni za svakodnevni život i javno zdravlje, čime se nastava čini smislenijom i kontekstualno povezanijom sa stvarnim svijetom. Osim usvajanja sadržajnog znanja, aktivnosti građanske znanosti imaju potencijal za sustavni

razvoj prirodoslovne pismenosti, posebice kroz razvoj istraživačkih vještina, razumijevanje znanstvenog načina razmišljanja te sposobnost interpretacije podataka i donošenja zaključaka na temelju dokaza. Time se izravno podupiru ciljevi nastavnog predmeta Biologija i međupredmetne teme Održivi razvoj, koja naglašava važnost razumijevanja odnosa između organizama, okoliša i ljudskog djelovanja. Istraživanje komaraca kao organizama od javnozdravstvenog i ekološkog značaja omogućuje povezivanje bioloških sadržaja s temama očuvanja okoliša, odgovornog ponašanja i aktivnog građanstva, što dodatno doprinosi razvoju funkcionalnih znanja i kompetencija učenika. Naposljetku, rezultati istraživanja upućuju i na važan doprinos profesionalnom razvoju učitelja i nastavnika. Uključivanje aktivnosti građanske znanosti u nastavu potiče učitelje na primjenu suvremenih didaktičkih pristupa, interdisciplinarno planiranje nastave te suradnju sa znanstvenim institucijama i lokalnom zajednicom. Time se jača uloga učitelja kao mentora i voditelja istraživačkog učenja, a nastava se usmjerava prema razvoju kompetencija koje su u skladu sa zahtjevima suvremenog obrazovanja i društva utemeljenog na znanju.

ZAHVALA

Rad financira Europska unija – NextGenerationEU (projekt: Razvoj i neurobiološka osnova djelovanja prirodnih repelenta komaraca u svrhu održivog razvoja: povezivanje znanstvenih spoznaja i nastavne prakse – REPEL; 581-UNIOS-98).

LITERATURA

- Bedoya-Rodríguez, F. J., Guevara-Fletcher, C. E., & Pelegrin, J. S. (2024). Citizen science and multimedia didactic resources: Knowledge of mosquito-borne diseases in an urban area of southwestern Colombia. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 9(11), 256. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed9110256>
- Berndt, J., & Nitz, S. (2023). Learning in Citizen Science: The Effects of Different Participation Opportunities on Students' Knowledge and Attitudes. *Sustainability*, 15(16), 12264. <https://doi.org/10.3390/su151612264>
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., & Wilderman, C. C. (2009a). Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report. Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE), Washington, DC, USA.
- Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009b). Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience*, 59, 977–984. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>
- Bonney, R., Shirk, J. L., Phillips, T. B., Wiggins, A., Ballard, H. L., Miller-Rushing, A. J., & Parrish, J. K. (2014). Next Steps for Citizen Science. *Science*, 343(6178), 1436–1437. <https://doi.org/10.1126/science.1251554>
- Branchini, S., Meschini, M., Covi, C., Piccinetti, C., Zaccanti, F., & Goffredo, S. (2015). Participating in a Citizen Science Monitoring Program: Implications for Environmental Education. *PLoS ONE*, 10(7), e0131812. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131812>
- Brossard, D., Lewenstein, B., & Bonney, R. (2005). Scientific Knowledge and Attitude Change: The Impact of a Citizen Science Project. *International Journal of Science Education*, 27(9), 1099–1121. <https://doi.org/10.1080/09500690500069483>
- Chase, S. K., & Levine, A. (2018). Citizen Science: Exploring the Potential of Natural Resource Monitoring Programs to Influence Environmental Attitudes and Behaviors: Citizen Science: Attitude and Behavior Change. *Conservation Letters*, 11(2), e12382. <https://doi.org/10.1111/conl.12382>
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218. <https://doi.org/10.1002/sce.10001>
- Christ, L., Hahn, M., Sieg, A. K., & Dreesmann, D. C. (2022). Be(e) Engaged! How Students Benefit from an Educational Citizen Science Project on Biodiversity in Their Biology Classes. *Sustainability*, 14(21), 14524. <https://doi.org/10.3390/su142114524>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. R. B. (2018). *Research methods in education*. Routledge.
- Crooks, T. J. (1988). The impact of classroom evaluation practices on students. *Review of Educational Research*, 58(4), 438–481. <https://doi.org/10.3102/00346543058004438>
- Evans, C., Abrams, E., Reitsma, R., Roux, K., Salmonsens, L., & Marra, P. P. (2005). The Neighborhood Nestwatch Program: Participant Outcomes of a Citizen-Science Ecological Research Project. *Conservation Biology*, 19, 589–594. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00s01.x>
- Ganzevoort, W., & Born, R. V. D. (2021). Counting Bees: Learning Outcomes from Participation in the Dutch National Bee Survey. *Sustainability*, 13(9), 4703. <https://doi.org/10.3390/su13094703>
- Gräber, W., Nentwig, P., Becker, H. J., Sumfleth, E., Pitton, A., Wollweber, K., & Jorde, D. (2002). Scientific Literacy: From Theory to Practice. In Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Gräber, W., Komorek, M., Kross, A., & Reiska, P. (Eds.),

- Research in Science Education—Past, Present, and Future (pp. 61–70). Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands.
- Haklay, M. (2013). Citizen Science and Volunteered Geographic Information: Overview and Typology of Participation. In Sui, D., Elwood, S., & Goodchild, M., (Eds.), *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice* (pp. 105–122). Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Haklay, M., Dörler, D., Heigl, F., Manzoni, M., Hecker, S., & Vohland, K. (2021). What Is Citizen Science? The Challenges of Definition. In Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., Wagenknecht, K. (Eds.), *The Science of Citizen Science* (pp. 13–33). Springer International Publishing: Cham, Switzerland
- Harrington, E. G. (2019). Chapter 5—Citizen Science. In Harrington, E. G. (Eds.), *Woodhead Publishing Series in Biomaterials; Academic Libraries and Public Engagement with Science and Technology* (pp 115–144). Witney, UK.
- Haywood, B. K. (2016). Beyond Data Points and Research Contributions: The Personal Meaning and Value Associated with Public Participation in Scientific Research. *International Journal of Science Education, Part B*, 6, 239–262. <https://doi.org/10.1080/21548455.2015.1043659>
- Kelemen-Finan, J., Knoll, C., & Pröbstl-Haiser, (2013). U. Amateur monitoring as a contribution to environmental education among young people: Citizen Science—Totally cool or just silly? *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 45(6), 171–176. (In German)
- Krach, M. L., Gottlieb, E., & Harris, E. (2019). Citizen Science to Engage and Empower Youth in Marine Science. In Fauville, G., Payne, D. L., Marrero, M. E., Lantz-Andersson, A., & Crouch, F. (Eds.), *Exemplary Practices in Marine Science Education* (pp. 417–435). Springer International Publishing: Cham, Switzerland.
- Labak, I., Meštrović, O., & Meštrović, J. (2023). Cjelovito učenje i poučavanje. Odjel za biologiju, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. https://www.biologija.unios.hr/wp-content/uploads/2023/11/Labak_i_sur_Cjelozivotno_ucenje_i_poucavanje.pdf
- Land-Zandstra, A. M., Devilee, J. L. A., Snik, F., Buurmeijer, F., & van den Broek, J. M. (2016). Citizen Science on a Smartphone: Participants’ Motivations and Learning. *Public Understanding of Science*, 25(1), 45–60. <https://doi.org/10.1177/0963662515602406>
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. In *Handbook of Research on Science Education*. Routledge, Abingdon, UK.
- Ministarstvo znanosti i obrazovanja. (2019). Kurikulum nastavnog predmeta Priroda i Biologija za osnovnu školu (Pravilnik o nacionalnom kurikulumu; NN 7/2019). *Narodne novine*. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_7_149.html
- Mumelaš, D. (2025). Exploring the Perspectives of Croatian Librarians on Citizen Science. *Liber Quarterly*, 35, 1–32. <https://doi.org/10.5337/lq.19014>
- Phillips, T. B., Ferguson, M., Minarchek, M., Porticella, N. & Bonney, R. (2014). User’s guide for evaluating learning outcomes in citizen science. Cornell Lab of Ornithology. Ithaca, NY, U.S.A.
- Phillips, T. B., Ballard, H. L., Lewenstein, B. V. & Bonney, R. (2019). Engagement in science through citizen science: moving beyond data collection. *Science Education*, 103(3), 665–690. <https://doi.org/10.1002/sce.21501>
- Roy, H. E., Pocock, M. J. O., Preston, C. D., Roy, D. B., Savage, J., Tweddle, J. C., & Robinson, L. D. (2012). *Understanding Citizen Science & Environmental Monitoring; Final Report on Behalf of UK-EOF*. NERC Centre for Ecology & Hydrology and Natural History Museum, Bailrigg, UK.
- Sackey, N., Meyer, C., & Weingart, P. (2024). Citizen science and learning outcomes: Assessment of projects in South Africa. *Journal of Science Communication*, 23(03), A02. <https://doi.org/10.22323/2.23030202>
- Shirk, J. L., Ballard, H. L., Wilderman, C. C., Phillips, T., Wiggins, A., Jordan, R., McCallie, E., Minarchek, M., Lewenstein, B., Krasny, M. E., et al. (2012). Public Participation in Scientific Research: A Framework for Deliberate Design. *Ecology and Society*, 17(2), 29. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04705-170229>
- Sickler, J., Cherry, T. M., Allee, L., Smyth, R. R., & Losey, J. (2014). Scientific Value and Educational Goals: Balancing Priorities and Increasing Adult Engagement in a Citizen Science Project. *Applied Environmental Education and Communication*, 13(2), 109–119.
- Somerwill, L. & Wehn, U. (2022). How to measure the impact of citizen science on environmental attitudes, behaviour and knowledge? A review of state-of-the-art approaches. *Environmental Sciences Europe*, 34, 18. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00596-1>
- Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach’s alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education*, 48(6), 1273–1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Theobald, E., Ettinger, A., Burgess, H., DeBey, L., Schmidt, N., Froehlich, H., Wagner, C., HilleRisLambers, J., Tewksbury, J., Harsch, M., et al. (2015) Global change and local solutions: Tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research. *Biological Conservation*, 181, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.10.021>
- Trumbull, D. J., Bonney, R., Bascom, D., & Cabral, A. (2000). Thinking Scientifically during Participation in a Citizen-Science Project. *Science Education*, 84, 265–275. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200003\)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200003)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5)
- Urhahne, D., Kremer, K., & Mayer, J. (2011). Certifications of the Nature of Science—Are They General or Context Specific? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 707–730. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9233-4>