

## Izgradnja biološkog aspekta koncepta energije tijekom gimnazijskog obrazovanja

Ana Bakarić<sup>1,2\*</sup>, Dorotea Vrbanović Lisac<sup>1,3</sup>, Ines Radanović<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Ruđera Boškovića 33, 21000, Split, \*[abakar24@pmfst.hr](mailto:abakar24@pmfst.hr)

<sup>2</sup> Osnovna škola Malešnica, Ul. Ante Topića Mimare 36, 1000, Zagreb

<sup>3</sup> V. gimnazija, Klaićeva 1, 10000, Zagreb

<sup>4</sup> Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10000, Zagreb

### SAŽETAK

Cilj istraživanja bio je ispitati izgradnju makrokoncepta *Energija u živome svijetu* kroz vertikalnu gimnazijskog obrazovanja. Istraživanje je provedeno na prigodnom uzorku od 1421 učenika od 1. do 4. razreda gimnazije. U analizu su uključeni odgovori učenika na zadatke koji su provjeravali retenciju znanja uz razumijevanje koncepta *Energetski učinci prehrane živih bića* iz prethodnog razreda. Čestice zadataka su kodirane prema točnosti, kognitivnoj razini učenja i težini čestice, a u ukupnom rezultatu uvažavana je složenost zadataka na osnovu kodiranih svojstava čestice. Na temelju toga izračunata je uspješnost rješavanja za svakog učenika. Za statističku analizu korištena je jednosmjerna analiza varijance (ANOVA), a zbog narušene homogenosti varijanci primijenjen je Welch test s Games-Howell post-hoc analizom. Dobiveni rezultati pokazuju da se razumijevanje koncepta energije kroz gimnazijsku vertikalnu ne razvija linearno, nego da oscilira među razredima. Najniža uspješnost zabilježena je u razumijevanju koncepta energije iz 8. razreda osnovne škole, dok se najveći porast postiže u 1. razredu gimnazije, nakon čega slijedi pad u 2. razredu i umjeren oporavak u višim razredima gimnazije. Rezultati ukazuju i na metodološki izazov u poučavanju koncepta energije, jer se pojedini koncepti u različitim razredima često poučavaju na istim primjerima pa učenici sadržaj doživljavaju kao već poznat i ne donosi im novo razumijevanje, što smanjuje motivaciju. Kako bi se to izbjeglo, u skladu s kurikulumom i dobi učenika potrebno je omogućiti razumijevanje potrebnih procesa uz konceptualnu izgradnju te usuglasiti okvire i raznolikost konteksta poučavanja za pojedini razred – od jednostavnijih u osnovnoj školi prema integriranim i interdisciplinarnim u gimnaziji.

**Ključne riječi:** energija; gimnazija; konceptualno razumijevanje; izgradnja koncepta

### UVOD

Energija u biologiji predstavlja osnovu za razumijevanje procesa i pojava u živim i neživim sustavima. Zbog svoje opće primjenjivosti koncept energije povezuje različita prirodoslovna područja te ima središnju ulogu u oblikovanju cjelovitog prirodoslovnog pogleda na svijet. Prema Abramovitch i Fortus (2023) koncept energije ubraja se među temeljne pojmove prirodoslovnog područja te ima ključnu ulogu u razumijevanju širokog spektra prirodnih pojava, kao i u rješavanju brojnih pitanja utemeljenih na znanstvenim spoznajama u svakodnevnom životu. Zbog svoje središnje uloge u različitim znanstvenim područjima, koncept energije prepoznat je kao međupredmetni koncept koji omogućuje povezivanje i integraciju različitih znanstvenih disciplina. Zbog relevantnosti koncepta, obrazovni standardi različitih zemalja izdvajaju energiju kao temeljnu ideju za poučavanje i učenje biologije i drugih znanstvenih predmeta (Opitz i sur., 2016). Osnovni dokumenti na kojima se u Republici Hrvatskoj temelji nastava biološke tematike su Kurikuli za nastavni predmet Priroda i društvo, Priroda i Biologija za osnovne škole i gimnazije (Narodne novine, 2019). Koncept energije u gimnazijskom obrazovanju u Republici Hrvatskoj nadograđuje se na temeljna znanja usvojena tijekom osnovnoškolskog obrazovanja te se razvija u skladu sa spiralno-uzlaznim pristupom Kurikula.

Spiralno-uzlazni pristup poučavanju osigurava poučavanje pojedinih koncepata i vještina na različitim razinama s povećanjem dubine i prilagodbe dobi učenika te se tako pojedini ishod nadograđuje prema stupnju samostalnosti učenika i razini kognitivnih procesa (Ministarstvo znanosti i obrazovanja, 2019). S obzirom na apstraktnost i složenost ovog koncepta, tek manji broj učenika uspijeva razviti razumijevanje koje im omogućuje korištenje koncepta za objašnjavanje pojava u svakodnevnom životu (Kubsch, 2024).

Energija je apstraktan pojam; nije izravno opažen i nemoguće ga je izravno izmjeriti, što otežava njegovo definiranje (Lancor, 2015). Istraživanje Putri i Rusyati (2021) pokazalo je da oko 41 % učenika srednjih škola zadržava pogrešne predodžbe o ekosustavima, uključujući i one povezane s protokom energije unutar ekosustava. Međuodnos i protok energije u ekosustavima ključni su biološki koncepti koje učenici često teško razumiju (Preston, 2018). Kod učenika često izostaje konceptualno razumijevanje protoka energije u ekosustavima, osobito kada se tijekom poučavanja pojedini koncepti (fotosinteza, stanično disanje, hranidbeni lanci, protok energije kroz trofičke razine) obrađuju odvojeno te se među njima ne uspostavljaju jasne veze. Učenici na različitim obrazovnim razinama često ne razumiju sve aspekte prijenosa energije, posebno kada se koncepti uče izolirano, bez naglašavanja međuovisnosti živih organizama i procesa u ekosustavu (Yee i Karpudewan, 2022).

Jedna od čestih miskoncepcija o prijenosu energije u hranidbenim lancima jest uvjerenje da se energija unutar ekosustava reciklira. Utvrđeno je da i učenici i učitelji vjeruju kako se energija može reciklirati (npr. pomoću razlagača), što odgovara zabludi da razlagači „vraćaju energiju“ natrag u ekosustav (Wernecke i sur., 2018). Formiranje odgovarajućeg konceptualnog razumijevanja ne događa se gomilanjem činjenica na činjenice; umjesto toga, učenje u znanosti zahtijeva znatnu reorganizaciju konceptualnog znanja i konceptualne promjene u različitim fazama i razinama (Vosniadou, 2013). Veliki izazov u razumijevanju za učenike predstavlja razlika u pojmu energije i tvari. Čak su i uspješni učenici pogrešno shvatili odnos između hrane (tvari) i energije, vjerujući da se hrana pretvara u energiju, umjesto da se energija oslobađa, dok se hrana pretvara u druge tvari koje više nisu hrana (Zhang i sur., 2019). Istraživanje Wyner i Blatt (2019) pokazalo je kako srednjoškolci opisuju hranidbeni lanac na način da počinje s 'hranjivim tvarima' od Sunca. Učenici su upoznati s činjenicom da životinje trebaju hranu za preživljavanje, ali imaju poteškoća primijeniti to znanje na biljke i njihove prehrabne potrebe (Wennersten i sur., 2023), kao i na razlagače kao dio hranidbenog lanca i njihovu ulogu u energetske odnosima ekosustava. Istraživanja također pokazuju kako učenici često imaju ograničeno ili fragmentirano razumijevanje koncepata energije u biološkom kontekstu; u mnogim slučajevima mogu prepoznati osnovne definicije, ali ne uspijevaju na konkretnim primjerima primijeniti principe kao što su očuvanje energije te pretvorba i korištenje energije na razini stanica i/ili organizma (Chabalengula i sur., 2011; Opitz i sur., 2017).

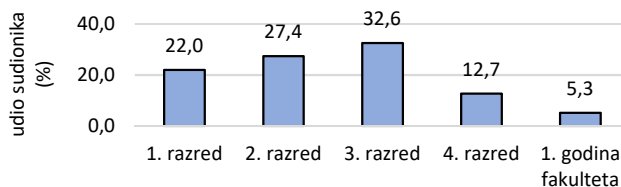
Dosadašnja istraživanja ukazala su na česte poteškoće učenika u razumijevanju ovih koncepata. Prema Kurikulu za nastavne predmete Priroda i društvo, Priroda i Biologija za osnovne i srednje škole u RH, unutar makrokoncepta „Energija“ i „Energija u živom svijetu“ (Narodne novine, 2019), koncepti prehrane, hranidbenih lanaca, prijenosa energije u ekosustavima te iskorištavanje energije na različitim organizacijskom razinama živog svijeta kontinuirano su prisutni u vertikalni biološkog obrazovanja, zbog čega se nametnuo problem ostvarivanja izgradnje koncepta tijekom višegodišnjeg učenja. Cilj ovoga istraživanja bio je ispitati postoji li napredak u razumijevanju koncepta energije kroz vertikalni gimnazijskog biološkog obrazovanja, s posebnim naglaskom na energetske učinke prehrane živih bića, prijenos energije kroz hranidbene lance i iskorištavanje energije na razini stanice i organizma.

U skladu s ciljem istraživanja postavljena je hipoteza: Učenici pokazuju kontinuirani napredak u razumijevanju koncepta energije kroz vertikalnu biologiju gimnazijskog obrazovanja, od 1. do 4. razreda.

## METODE

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta IP-CORONA-2020-12-3798 odobrenog od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i mladih tijekom školske godine 2021./2022. Za potrebe projekta razvijeni su originalni nastavni materijali koji su prethodno prošli postupak stručne recenzije i pilot-testiranja s učenicima, čime je provjerena njihova valjanost i prikladnost. Sudjelovanje je bilo dobrovoljno te je provedeno uz prikupljene informirane pristanke roditelja, ravnatelja i učenika. Svi podaci analizirani su na grupnoj razini, bez mogućnosti identifikacije pojedinaca. U istraživanju je korišten prigodan uzorak koji je obuhvaćao škole i fakultete čiji su se nastavnici i profesori dobrovoljno uključili u projekt. Provedba istraživanja odvijala se u online i hibridnom obliku, ovisno o tehničkim i organizacijskim mogućnostima.

U istraživanju je sudjelovao 1421 učenik i student ( $\bar{X} = 62,3 \%$ ,  $M = 37,7 \%$ ). Raspodjela sudionika prema razredima gimnazijskog obrazovanja (GIM/G) i godini studija prikazana je na Slici 1. Studenti su uključeni u istraživanje kako bi se očuvala vertikalna analiza razumijevanja koncepta energije kroz cijelo gimnazijsko obrazovanje, budući da su se zadatci korišteni u istraživanju odnosili na odgojno – obrazovne ishode prethodnih razreda. Sudionici srednjoškolske dobi pohađali su različite gimnazije u Republici Hrvatskoj, dok su studenti dolazili s triju visokih učilišta: Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (5,3 %), Učiteljskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (36,0 %) i Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku (58,7 %). Najmanje je sudionika bilo s prve godine studija, dok su najzastupljeniji bili učenici trećega razreda gimnazije.



**Slika 1.** Distribucija učenika i studenata prema pojedinom razredu/godini studija (N = 1421)

Zadaci korišteni u istraživanju bili su dio veće provjere znanja, no za potrebe ovog rada izdvojeni su zadaci koji su provjeravali retenciju znanja i razumijevanje koncepta energije stečenog u prethodnom razredu (Tablica 1).

**Tablica 1.** Provjeravani ishodi učenja, koncepti prema konceptualnom okviru učenja biologije (Radanović i sur, 2019) i kontekstu provjere retencije znanja prethodnog razreda

Razred	Ishod	Koncept	Konceptualna osnova konteksta zadatka
1. GIM za 8. OŠ	BIO OŠ C.8.2. Povezuje hranidbene odnose u biosferi s preživljavanjem organizma.	C.3.4. Pretvorba i prijenos energije	Kruženje tvari i protjecanje energije u ekosustavu, prijenos energije u hranidbenim lancima.
2. GIM za 1. GIM	BIO SŠ C.1.1. Objašnjava vezanje i pretvorbu energije u procesima kruženja tvari u biosferi povezujući ih sa životnim uvjetima i održanjem života.	C.3.4. Pretvorba i prijenos energije C.3.1. Kruženje tvari u prirodi	Kruženje tvari i protjecanje energije u ekosustavu, prijenos energije u hranidbenim lancima.
3. GIM za 2. GIM	BIO SŠ C.2.1. Objašnjava protjecanje i pretvorbe energije na razini organskih sustava i organizma.	C.2.2. Razgradnja hranjivih tvari i pretvorba energije	Načini prehrane različitih organizama, ekonomično iskorištavanje energije.
4. GIM za 3. GIM	BIO SŠ C.3.2. Analizira principe iskorištavanja energije na razini stanice.	C.3.2. Izvori energije za živa bića	Iskorištavanje energije različitih stanica i u ovisnosti o staničnim tvorbama, iskorištavanje energije i narušavanje homeostaze.

STUDENTI za 4. GIM	BIO SŠ C.2.2. Uspoređuje energetske potrebe organizama u različitim fiziološkim stanjima. BIO SŠ C.1.1.1. Objašnjava vezanje i pretvorbu energije u procesima kruženja tvari u biosferi povezujući ih sa životnim uvjetima i održanjem života.	C.3.2. Izvori energije za živa bića C.3.4. Pretvorba i prijenos energije	Načini prehrane različitih organizama, ekonomično iskorištavanje energije. Kruženje tvari i protjecanje energije u ekosustavu.
-----------------------	---	---	---

Kod studenata nisu provjeravani ishodi 4. razreda gimnazije, već ishodi 1. i 2. razreda, kako bi se zadržala usporedivost koncepta energije s ostalim razredima uključenima u uzorak (Tablica 1).

Zadaci su kodirani prema unaprijed definiranim kategorijama: težini (lagano = 1, srednje teško = 2, teško = 3) i kognitivnoj razini učenja (1R = 1, 2R = 2, 3R = 3). Zadaci su bili izjednačeni po broju i kognitivnim razinama, ali su se razlikovali prema težini, tako da su stariji učenici rješavali teže zadatke (Tablica 2). Početnu kategorizaciju proveli su autori zadataka, koji su procijenili i vjerojatnu uspješnost rješavanja zadataka kao očekivanu uspješnost učenja (%), nakon čega je uslijedila stručna recenzija tijekom koje su usklađena sva odstupanja u klasifikaciji.

**Tablica 2.** Zadaci po razredima prema kognitivnoj razini učenja i težini

razred	broj zadataka	kognitivna razina učenja	težina čestica
1.GIM za 8. OŠ	2	1, 2	1, 2
2.GIM za 1.GIM	2	1, 2	1, 3
3.GIM za 2.GIM	2	1, 2	2, 3
4. GIM za 3.GIM	2	1, 2	2, 3
STUDENTI za 4.GIM	2	1, 2	2, 2

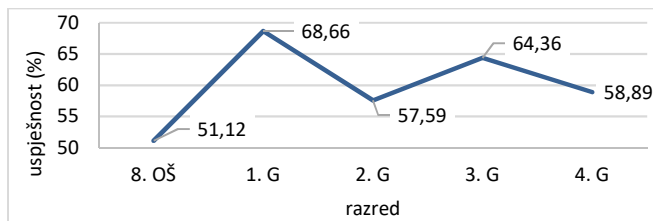
Odgovori učenika kodirani su prema kriteriju točnosti odgovora (točno = 2, netočno = 1, bez odgovora = 0), pri čemu točnost odgovora ne predstavlja bodovnu skalu uspješnosti, nego diferencira tri razine izvedbe: izostanak pokušaja odgovora, pogrešan konceptualni pristup i točan odgovor. Time se izbjeglo izjednačavanje učenika koji su pokušali odgovoriti, ali su dali pogrešan odgovor, s učenicima koji nisu uopće pokušali odgovoriti, što omogućuje precizniju analizu konceptualnog razumijevanja.

Metrijske karakteristike zadataka provjerene su u pilot-istraživanju provedenom na minimalno 50 učenika svakog razreda. Pouzdanost konačnog instrumenta procijenjena je izračunom Cronbach  $\alpha$  koeficijenta, pri čemu je dobivena vrijednost  $\alpha = 0,722$ , što upućuje na srednju do visoku pouzdanost. Na temelju kodiranih odgovora, težine i kognitivne razine svakog zadatka izračunata je nova varijabla nazvana indeks rješavanja (uspješnost), koja predstavlja umnožak navedenih elemenata. Ova varijabla ne odražava uspješnost pojedinog učenika, nego omogućuje relativnu usporedbu razreda na razini godišta učenja biologije u postignutim rezultatima te služi kao pokazatelj razlikovanja razrednih skupina u ukupno ostvarenim bodovima.

Za statističku obradu podataka korištena je jednosmjerna analiza varijance (ANOVA). Budući da je utvrđeno narušavanje homogenosti varijanci, primijenjen je Welchov test, a za naknadne usporedbe između skupina provedena je Games-Howellova post-hoc analiza. Svi statistički izračuni provedeni su u programu IBM SPSS Statistics.

## REZULTATI

Analiza uspješnosti rješavanja zadataka iz koncepta energije pokazala je da se postignuća sudionika značajno razlikuju među razredima. Ukupna prosječna uspješnost retencije znanja iznosila je 60,12 % (SD = 32,70), a prosječne vrijednosti po razredima kretale su se od 51,12 % u 1. razredu gimnazije uz zadatke 8. razreda (OŠ) do 68,66 % u 2. razredu gimnazije za zadatke 1. razreda gimnazije (Slika 2).

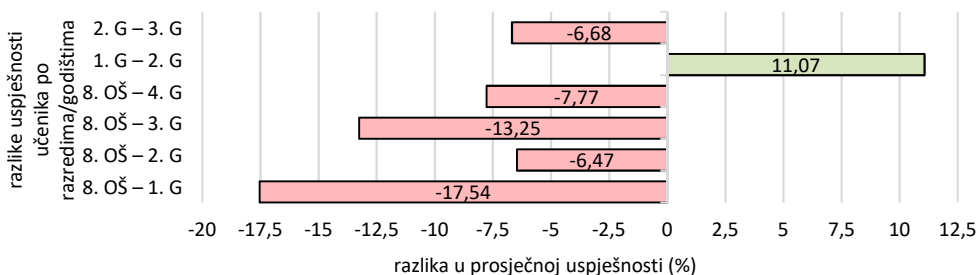


Slika 2. Prosječna uspješnost rješavanja zadataka po razredima

Deskriptivni pokazatelji upućuju na velik raspon ostvarenih rezultata u svim skupinama (0 – 100 %), uz visoke standardne devijacije (25 – 37 %), što ukazuje na izraženu heterogenost konceptualnog razumijevanja unutar pojedinih razreda. Analiza riješenosti pojedinih čestica (Tablica 3) pokazala je da udio točnih odgovora varira ovisno o razredu i kognitivnoj razini. Učenici nižih razreda češće su davali netočne odgovore ili nisu davali odgovor, dok se u višim razredima javlja veći udio djelomično točnih odgovora, što upućuje na postupno razvijanje kompleksnijeg konceptualnog razumijevanja.

Rezultati Leveneova testa pokazali su da pretpostavka homogenosti varijanci nije zadovoljena ( $p < 0,001$ ), zbog čega je za analizu razlika među skupinama primijenjena Welchova korekcija. Welchova ANOVA ukazala je na statistički značajne razlike u uspješnosti rješavanja zadataka iz koncepta energije među razredima,  $F_{(4; 387,14)} = 13,83$ ;  $p < 0,001$ .

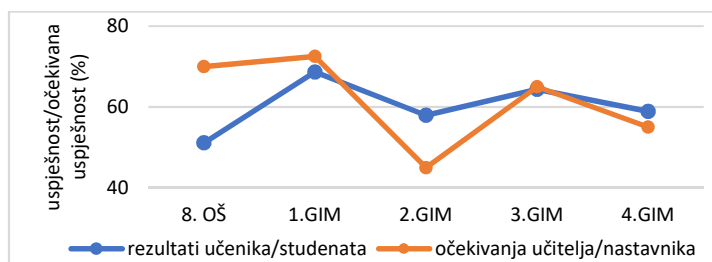
Games–Howell post-hoc analiza pokazala je da je uspješnost ispitanika 1. razreda gimnazije statistički značajno viša od uspješnosti ispitanika 8. razreda osnovne škole, 2. razreda i 4. razreda gimnazije ( $p < 0,05$ ; Slika 3). Uspješnost ispitanika 8. razreda osnovne škole bila je značajno niža u odnosu na sve ostale skupine ( $p < 0,05$ ).



Slika 3. Značajne post-hoc razlike u prosječnoj uspješnosti rješavanja zadataka (Games–Howell test)

Analiza homogenih podskupina pokazala je da se razredi grupiraju u jasne klustere uspješnosti: 8. razred osnovne škole čini zasebnu skupinu s najnižim rezultatima, 1. razred postiže najviše vrijednosti, dok se 2., 3. i 4. razred gimnazije djelomično preklapaju u rasponima prosječne uspješnosti.

Usporedba ostvarenih rezultata učenika i studenata s očekivanjima učitelja i nastavnika pokazala je da su u pojedinim razredima (8. razred OŠ i 1. razred) stvarna postignuća niža od očekivanih (Slika 4). Za razliku od toga, učenici su uz ishode 2. razreda gimnazije ostvarili bolje od očekivanja nastavnika (Slika 4).



Slika 4. Usporedba stvarnih rezultata učenika/studenata i očekivanih rezultata učitelja/nastavnika

## RASPRAVA

Cilj ovog istraživanja bio je analizirati postoji li napredak u razumijevanju koncepta energije kroz vertikalnu gimnazijskog biološkog obrazovanja, s posebnim naglaskom na energetske učinke prehrane živih bića i prijenos energije kroz hranidbene lance u ekosustavima. Dobiveni rezultati pokazuju da se razumijevanje koncepta energije kroz gimnazijsku vertikalnu ne razvija linearno, nego da oscilira među razredima, što je u suprotnosti s postavljenom hipotezom o linearnom razvoju konceptualnog razumijevanja učenika tijekom gimnazijskog obrazovanja. Usprkos toga, učenici u višim razredima nude veći udio djelomično točnih odgovora, čime ipak ukazuju na postupno razvijanje kompleksnijeg konceptualnog razumijevanja. Najniža uspješnost zabilježena je uz razumijevanje koncepta energije vezano uz učenje u 8. razredu osnovne škole, dok se najveći porast postiže u 1. razredu gimnazije, nakon čega slijedi pad u 2. razredu i umjeren oporavak u višim razredima gimnazije. Uočena razlika između predviđene i stvarne razine konceptualnog razumijevanja ukazuje da su u pojedinim razredima stvarna postignuća niža od očekivanih, osobito u zadacima koji zahtijevaju analizu protjecanja i prijenosa energije u hranidbenim lancima, dok pri analizi ekonomičnog iskorištavanja energije tijekom metabolizma učenici ipak ostvaruju bolje rezultate od očekivanja njihovih nastavnika.

Ishod BIO OŠ C.8.2., koji podrazumijeva povezivanje hranidbenih odnosa u biosferi s preživljavanjem organizama, ostvaren je na niskoj razini te se uglavnom očituje kroz površno razumijevanje, bez razvijenog dubljeg konceptualnog razumijevanja. Slaba uspješnost učenika na početku gimnazijskog obrazovanja uz konceptualno razumijevanje energije 8. razreda osnovne škole može se povezati s teškoćama u interpretaciji hranidbenih lanaca i mreža. Analiza odgovora pokazuje da učenici često pogrešno određuju položaj organizama u hranidbenom lancu te zaključuju da završni članovi raspoložu najvećom količinom energije. Takve miskoncepcije ranije su opisane u istraživanjima koja ističu da učenici energiju doživljavaju kao nešto što se „nakuplja prema vrhu“ hranidbenog lanca, bez razumijevanja energetske gubitaka (Preston, 2018). Dodatni problem predstavlja izostanak objašnjenja značenja strelica u hranidbenim mrežama u udžbenicima, gdje se one često interpretiraju isključivo kao odnos „tko koga jede“, a ne kao prikaz prijenosa energije (Blažinec, 2018).

Najveći porast uspješnosti nastupa između 8. razreda osnovne škole i 1. razreda gimnazije, što ukazuje na uspješniju ostvarenost ishoda BIO SŠ C.1.1. i upućuje na pozitivan učinak sustavnijeg poučavanja biologije i bolje konceptualne strukturiranosti sadržaja. Prema važećem kurikulumu, u 1. razredu gimnazije naglasak je stavljen na ekološke koncepte, unutar kojih se koncept energije obrađuje u različitim kontekstima, uključujući razinu organizma i ekosustava, uz uvođenje pojmova poput biomase, čime je omogućeno dublje razumijevanje energetske odnosa. Takav rezultat podudara se s istraživanjima koja ističu da spiralno-uzlazni pristup, u kojem se koncepti nadograđuju kroz različite kontekste, doprinosi stabilnijem konceptualnom razvoju i boljoj retenciji znanja (Garcia, 2021; de Ramos-Samala, 2018; Tirol, 2022). Suprotno tome, ponavljanje istih sadržaja u istom kontekstu bez širenja ili produbljivanja, što se često uočava u učenju tijekom osnovne škole, može ograničiti napredak učenika, što potvrđuje i Garašić (2012).

Rezultati ukazuju na potrebu za snažnijim naglaskom na konceptualno povezivanje hranidbenih odnosa i energetske procesa već u završnim razredima osnovne škole, kako bi se ishod BIO OŠ C.8.2. *Povezuje hranidbene odnose u biosferi s preživljavanjem organizama* ostvarivao na razini dubljeg razumijevanja. Takvo bi konceptualno utemeljenje omogućilo kvalitetniji prijelaz prema složenijem ishodu BIO SŠ C.1.1. u 1. razredu gimnazije, koji zahtijeva dublje razumijevanje vezanja i pretvorbe energije u procesima kruženja tvari u biosferi te njihovo povezivanje sa životnim uvjetima i održanjem života.

Pad uspješnosti u 2. razredu gimnazije, u zadacima vezanim uz prehranu i metabolizam organizama, upućuje na parcijalno ostvarenje ishoda BIO SŠ C.2.1. *Objašnjava protjecanje i pretvorbe energije na razini organskih sustava i organizma*, što je u skladu s rezultatima Zhang i sur. (2019), koji navode da učenici često razvijaju pojednostavljene i netočne koncepcije energije u hrani. Analizom odgovora uočeno je da učenici često koriste pojam „energija hrane“ ili navode glukozu kao oblik energije, pri čemu energiju doživljavaju kao tvar koja se „pohranjuje“ ili „prenosi“ u nepromijenjenom obliku. Takvi odgovori upućuju na nerazlikovanje pojmova tvari i energije te na miskoncepcije prema kojima je energija materijalna supstanca, a ne skalarna fizikalna veličina koja se u biološkim sustavima pretvara iz jednog oblika u drugi. Slično tome, Opitz i sur. (2016) ističu da učenici imaju poteškoća s razumijevanjem kemijske energije, uključujući energijske promjene u kemijskim vezama i ulogu kisika u životnim procesima. Ove miskoncepcije mogu djelomično objasniti pad uspješnosti u rješavanju zadataka viših kognitivnih zahtjeva, u kojima je potrebno integrirati više razina bioloških procesa. Važnost njihovog ranog prepoznavanja naglašava i Tašći (2024), zbog čega je potrebno prije učenja provjeriti razumijevanje učenika, kako bi se pri poučavanju moglo jasnije usmjeriti na pripremu aktivnosti koje će omogućiti razumijevanje učenika. Još 1990. Boyes i Stanisstreet naglašavaju kako je za učinkovito poučavanje koncepta energije važno prepoznati i razotkriti miskoncepcije učenika te ih sustavno povezati sa znanstveno prihvatljivim objašnjenjima. Korištenje jednostavnih modela i manipulativnih materijala, poput kartica za razvrstavanje pojmova (npr. tvar ili energija), dijagrama protoka energije ili postavljanja tvrdnji (npr. „Glukoza je energija“), koja potiču učenike da argumentirano odluče je li tvrdnja točna ili netočna, olakšava razumijevanje apstraktnih koncepata. Istovremeno, ovakav pristup omogućuje nastavnicima identificiranje pogrešnih predodžbi koje su razvijene kod učenika. Pri tome je važno izbjegavati prekomjerno pojednostavljivanje koje bi moglo dovesti do netočnih ili znanstveno nepreciznih shvaćanja.

U višim razredima gimnazije (3. i 4. razred) uočava se djelomično povećanje uspješnosti, ali bez dosezanja razine iz 1. razreda gimnazije. Struktura odgovora pokazuje veći udio djelomično točnih odgovora, ali i na poteškoće u integraciji više razina biološke organizacije (razina stanice i organizma te molekularna razina procesa). Primjerice, analiza odgovora pokazala je da učenici uglavnom prepoznaju organizam koji za prehranu troši više energije, no njihova objašnjenja razloga odabira često su nepotpuna, što upućuje na razvoj parcijalnog konceptualnog razumijevanja u kontekstu načina prehrane organizama i ekonomičnog iskorištavanja energije. Takvi rezultati u skladu su s nalazima Marion i sur. (2023), prema kojima su učenicima najzahtjevniji zadatci koji zahtijevaju organizaciju informacija i izgradnju smisla, osobito u složenim kontekstima. Na temelju rezultata preporučuje se primjena različitih tehnika aktivnog učenja (npr. izrada učeničkih konceptualnih mapa) koje potiču integraciju više razina biološke organizacije i argumentirano objašnjavanje energetskih procesa. Važan izvor miskoncepcija učenika predstavlja i način na koji se energija prikazuje u nastavi. Metafore poput „energija putuje“ ili „energija protječe“ mogu biti zbunjujuće ako nisu dovoljno kontekstualizirane, jer učenici tada energiju shvaćaju kao fizički objekt koji se prenosi bez gubitaka (Wernecke i sur., 2017). Takvi prikazi pridonose pogrešnom zaključivanju da svi organizmi dobivaju jednaku količinu energije ili da se energija „stvora“ u proizvođačima, umjesto da se pretvara iz jednog oblika u drugi.

Rezultati također ukazuju na poteškoće u primjeni znanja u kontekstu zadatka. U zadacima koji zahtijevaju analizu grafičkih ili slikovnih prikaza učenici se često oslanjaju na naučene definicije, bez povezivanja s konkretnim prikazom, što potvrđuje nalaze Wernecke i sur. (2018). Analiza odgovora tumačenja grafičkih prikaza povezanih s konceptom iskorištavanja energije u različitim tipovima stanica, uloge staničnih tvorbi te odnosa između potrošnje energije i narušavanja homeostaze pokazala

je da učenici uglavnom reproduciraju deklarativna znanja. Učenici često navode da stanje narušene homeostaze zahtijeva povećanu potrošnju energije te da organizam troši energiju na procese poput stvaranja antitijela, što upućuje na usvojene činjenične informacije. Međutim, ta se znanja rijetko potkrepljuju točnim tumačenjem podataka prikazanih grafičkim prikazom, niti se primjenjuju u analizi konkretne situacije. Ovakav obrazac odgovora upućuje na raskorak između deklarativnog znanja („znati da“) i funkcionalnog znanja („znati kako i zašto“), pri čemu učenici imaju poteškoće u korištenju dostupnih podataka za objašnjavanje energetske procesa na razini stanice i organizma te u kontekstu održavanja homeostaze. Time se izostavlja funkcionalna primjena znanja, a odgovori odražavaju reprodukciju teorije, a ne stvarno razumijevanje prikazanih energetske procesa. Ovakav obrazac odgovora sugerira da nije došlo do zadovoljavajuće nadogradnje ishoda BIO SŠ C.2.1. *Objašnjava protjecanje i pretvorbe energije na razini organskih sustava i organizma* na složeniji ishod u višim razredima, poput BIO SŠ C.3.2. *Analizira principe iskorištavanja energije na razini stanice*. Drugim riječima, iako učenici mogu prepoznati osnovne energetske obrasce na razini organizma, njihova sposobnost analize energetske procesa na staničnoj razini i usporedbe energetske potrošnje u različitim fiziološkim stanjima još uvijek nije dovoljno razvijena, što naglašava potrebu za intenzivnijom integracijom viših razina biološke organizacije u nastavi i za primjenom metoda koje potiču funkcionalno razumijevanje.

Na razini studenata uočen je blagi pad uspješnosti u odnosu na više razrede gimnazije, što može biti povezano s većim vremenskim odmakom od poučavanja ispitivanih sadržaja, slabijom motivacijom što je vidljivo i u većem udjelu izostavljenih odgovora te manjim poduzorkom. Ovakav rezultat dodatno naglašava važnost kontinuiranog konceptualnog nadograđivanja, ali uz promjenu konteksta i pristupa, kako bi se izbjeglo mehaničko usvajanje znanja (Garašić, 2012).

Generalna prosječna uspješnost upućuje na potrebu za sustavnijim i interdisciplinarnim pristupom poučavanju koncepta energije. Budući da se energija u biologiji, fizici i kemiji konceptualizira na različite načine, a istraživači iz različitih disciplina ne doživljavaju energiju kao zajednički koncept (Abramovitch i Fortus, 2023), nužna je veća suradnja učitelja STEM predmeta. Takav pristup mogao bi pridonijeti smanjenju miskoncepcija i razvoju koherentnijeg razumijevanja energije kao temeljnog znanstvenog koncepta.

Ovo istraživanje ima nekoliko ograničenja koja je potrebno uzeti u obzir pri interpretaciji rezultata. Prvo, korišten je prigodan uzorak škola i fakulteta, što može ograničiti mogućnost generalizacije rezultata na širu populaciju učenika i studenata. Drugo, instrument je uključivao mali broj zadataka za svaku razinu, što smanjuje širinu procjene konceptualnog razumijevanja energije i ograničava mogućnost analize odgovora. Treće, indeks rješavanja temeljen je na kombinaciji težine, točnosti i kognitivne razine, što omogućuje usporedbu skupina, ali ne daje uvid u individualni napredak učenika. Ograničenja istraživanja, poput prigodnog uzorka i ograničenog broja zadataka, upućuju na potrebu za budućim longitudinalnim istraživanjima kako bi se preciznije pratio razvoj konceptualnog razumijevanja kroz vrijeme, koja bi omogućila detaljnije praćenje konceptualnog razvoja učenika kroz obrazovnu vertikalu.

Dobiveni rezultati naglašavaju potrebu za sustavnijim, interdisciplinarnim i konceptualno usmjerenim poučavanjem energije, uz primjenu aktivnih nastavnih strategija koje potiču povezivanje različitih razina biološke organizacije i argumentirano objašnjavanje energetske procesa. Time se može pridonijeti razvoju koherentnijeg i dubljeg razumijevanja energije kao temeljnog znanstvenog koncepta.

## ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju da se razumijevanje koncepta energije kroz vertikalnu gimnazijskog biološkog obrazovanja ne razvija linearno, već oscilira među razinama obrazovanja. Najniža uspješnost zabilježena je uz razumijevanje u 8. razredu osnovne škole, dok se najveći napredak uočava u 1. razredu gimnazije, nakon čega slijedi pad u 2. razredu i tek djelomičan oporavak u višim razredima gimnazije. Analiza odgovora ukazuje na raširene miskoncepcije vezane uz prijenos energije u hranidbenim lancima, osobito uvjerenje da se energija „nakuplja” prema vrhu hranidbenog lanca te nerazumijevanje energetske gubitaka. Uočene su i poteškoće u razlikovanju pojmova tvari i energije, pri čemu učenici energiju često doživljavaju kao materijalnu supstancu. U višim razredima gimnazije dominiraju djelomično točni odgovori, što upućuje na parcijalno razumijevanje i poteškoće u integraciji bioloških procesa. Poseban izazov predstavlja raskorak između deklarativnog i funkcionalnog znanja; učenici često reproduciraju činjenične informacije, ali ih ne uspijevaju primijeniti u analizi grafičkih prikaza i konkretnih bioloških situacija. Takvi nalazi potvrđuju da su zadatci koji zahtijevaju organizaciju informacija i izgradnju smisla osobito zahtjevni za učenike.

## METODIČKI ZNAČAJ

Metodički značaj ovog istraživanja leži u pružanju smjernica za učinkovitije poučavanje koncepta energije u gimnazijskom obrazovanju. Rezultati istraživanja mogu pružiti nastavnicima biologije vrijedne informacije za planiranje učinkovitijih nastavnih aktivnosti i strategija poučavanja, ali i za prepoznavanje onih konceptata vezanih uz energiju koji kod učenika izazivaju najveće nerazumijevanje ili su najzahtjevniji za usvajanje. Temeljem tih saznanja učitelji mogu ciljano usmjeriti nastavne aktivnosti na koncepte koje učenici slabije usvajaju i uz koje su primijećene miskoncepcije, pružajući im dodatnu podršku u pravilnom shvaćanju koncepta energije u biološkom obrazovanju. Za ostvarenje ovog cilja preporučuje se primjena strategija aktivnog učenja koje potiču integraciju različitih razina biološke organizacije i razvijaju sposobnost argumentiranog objašnjavanja energetske procesa. Preporučene metode uključuju izradu konceptualnih mapa i dijagrama protoka energije, primjenu simulacija i digitalnih alata, uključivanje jasnih vizualnih reprezentacija te sustavno vježbanje zaključivanja i primjene znanja u različitim kontekstima uz tumačenje grafičkih prikaza. Važno je uvođenje raznovrsnijih pristupa poučavanju umjesto stalnog ponavljanja istih primjera na isti način, jer takav pristup kod učenika može izazvati osjećaj rutine i smanjenje motivacije. Učenici tada ne doživljavaju učenje kao izazovno niti kognitivno zahtjevno, što otežava učinkovitu nadogradnju znanja i može rezultirati propuštanjem ključnih konceptata prilikom razvoja dubljeg razumijevanja. Primjena ovih pristupa omogućuje nastavnicima da sustavno uočavaju pogrešne predodžbe i parcijalno razumijevanje, olakšava povezivanje deklarativnog i funkcionalnog znanja, te potiče razvoj koherentnog razumijevanja energije kao temeljnog i umreženog koncepta biološkog konceptualnog okvira.

## ZAHVALA

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-CORONA-2020-12-3798.

## LITERATURA

- Abramovitch, S., & Fortus, D. (2023). *Conceptualization of energy by practicing scientists: Do researchers from different disciplines grasp energy as a crosscutting concept?* *Education Sciences*, 13(12), 1179. <https://doi.org/10.3390/educsci13121179>
- Balažinec, M. (2018). *Tlo kao model za poučavanje složenih odnosa u ekosustavu* (Istraživački seminar). Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu. [https://www.pmfst.unist.hr/wp-content/uploads/2018/09/balazinec\\_istrazivacki-seminar-i.pdf](https://www.pmfst.unist.hr/wp-content/uploads/2018/09/balazinec_istrazivacki-seminar-i.pdf)

- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1990). Pupils' ideas concerning energy sources. *International Journal of Science Education*, 12(5), 513–529. <https://doi.org/10.1080/0950069900120505>
- Chabalengula, V. M., Sanders, M., & Mumba, F. (2011). *Diagnosing students' understanding of energy and its related concepts in biological context*. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(2), 241–266. <https://doi.org/10.1007/s10763-011-9291-2>
- Garašić, D. (2012). Primjerenost biološkog obrazovanja tijekom osnovnog i gimnazijskog školovanja (Doktorski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu). CROSBİ. <https://www.croris.hr/crosbi/publikacija/ocijenski-rad/375317>
- Garcia, R. E. (2021). Factors that influence students' learning progress in the science spiral progression curriculum. *Journal of Curriculum Studies Research*. <https://doi.org/10.46303/jcsr.2020.5>
- Kubsch, M. (2024). What affects the continued learning about energy? Evidence from a 4-year longitudinal study. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(5), 975–997. <https://doi.org/10.1002/tea.21931>
- Lancor, R. (2015). An analysis of metaphors used by students to describe energy in an interdisciplinary general science course. *International Journal of Science Education*, 37(5–6), 876–902. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025309>
- Marion, S. B., Reynolds, J. A., Schmid, L., Carter, B. E., Willis, J. H., Mauger, L., & Thompson, R. J. Jr. (2023). *Beyond content, understanding what makes test questions most challenging*. *BioScience*, 73(3), 229–235. <https://doi.org/10.1093/biosci/biad007>
- Narodne novine. (2019, 22. siječnja). *Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Priroda za osnovne škole u Republici Hrvatskoj* (NN 7/2019). [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_7\\_148.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_7_148.html) (pristupljeno 17. 12. 2025.)
- Narodne novine. (2019, 11. siječnja). *Pravilnik o Nacionalnom kurikulumu za osnovnu i srednju školu*. Narodne novine, 7/2019. [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_7\\_149.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_7_149.html) (pristupljeno 17. 12. 2025.)
- Opitz, S. T., Blankenstein, A., & Harms, U. (2016). *Student conceptions about energy in biological contexts*. *Journal of Biological Education*, 51(4), 427–440. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1257504>
- Preston, C. (2018). *Food webs: Implications for instruction*. *The American Biology Teacher*, 80(5), 331–338. <https://doi.org/10.1525/abt.2018.80.5.331>
- Putri, S. S., & Rusyati, L. (2021). Analyzing the science misconception in mastery concept of ecosystem topic at senior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806, 012125. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012125>
- de Ramos-Samala, H. (2018). Spiral progression approach in teaching science: A case study. *KnE Social Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i4.2404>
- Taşçi, G. (2024). Development of a Two-Tier Diagnostic Test to Assess Misconceptions about Biology Concepts at Primary School. *Science Insights Education Frontiers*, 25(2), 4099–4122. <https://doi.org/10.15354/sief.24.or652>
- Tirol, S. L. (2022). Spiral progression approach in the K to 12 science curriculum: A literature review. *International Journal of Education*, 10(4). <https://doi.org/10.5121/ije.2022.10403>
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual change in learning and instruction: A framework theory approach. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (2nd ed., pp. 11–30). Routledge. Wennersten, L., Wanselin, H., Wikman, S., & Lindahl, M. (2023). *Interpreting students' ideas on the availability of energy and matter in food webs*. *Journal of Biological Education*, 57(1), 3–23. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1858935>
- Wernecke, U., Schwanewedel, J., & Harms, U. (2017). *Metaphors describing energy transfer through ecosystems: Helpful or misleading?* *Science Education*, 101(6), 976–997. <https://doi.org/10.1002/sce.21316>
- Wernecke, U., Schütte, K., Schwanewedel, J., & Harms, U. (2018). *Enhancing conceptual knowledge of energy in biology with incorrect representations*. *CBE — Life Sciences Education*, 17(1), ar5. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-07-0133>
- Wyner, Y., & Blatt, E. (2019). Connecting ecology to daily life: How students and teachers relate food webs to the food they eat. *Journal of Biological Education*, 53(2), 128–149. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1459264>
- Yee, Y. L., & Karpudewan, M. (2022). Science writing heuristics improve pre-university students' understanding of energy transfer in an ecosystem and ability to provide quality arguments. *Journal of Turkish Science Education*, 19(1), 82–96. <https://doi.org/10.36681/tused.2022.111>
- Zhang, T., Chen, A., & Ennis, C. (2019). Elementary school students' naïve conceptions and misconceptions about energy in physical education context. *Journal of Teaching in Physical Education*, 38(2), 154–162. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2018-0006>

## Enhancing the biological understanding of energy concepts in high school education

*Ana Bakarić<sup>1,2\*</sup>, Dorotea Vrbanović Lisac<sup>1,3</sup>, Ines Radanović<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> University of Split, Faculty of Science, Ruđera Boškovića 33, 21000, Split, Croatia \*[abakar24@pmfst.hr](mailto:abakar24@pmfst.hr)

<sup>2</sup> Elementary school Malešnica, Ante Topića Mimare 36, 10000, Zagreb, Croatia

<sup>3</sup> 5<sup>th</sup> gymnasium, Vjekoslava Klaića 1, 10000, Zagreb, Croatia

<sup>4</sup> Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, 10000, Zagreb, Croatia

### ABSTRACT

The research examined the development of the macroconcept of Energy in the living world across the high school vertical. The study used a convenience sample of 1421 students from the 1st to 4th grades of high school. The analysis examined students' responses to tasks assessing knowledge retention and understanding of the concept of Energy, including its effects on nutrition in living beings from the previous grade. Task items were coded for accuracy, cognitive level of learning, and item difficulty, and the overall result accounted for task complexity based on the coded properties of each item. Based on this, the success of each student in solving was calculated. One-way analysis of variance (ANOVA) was used for statistical analysis. Due to the violation of homogeneity of variance, the Welch test with Games-Howell post hoc analysis was applied. The results show that understanding of the concept of Energy does not develop linearly across the high school vertical but rather oscillates between grades. The lowest performance was recorded in the 8th grade of primary school, while the highest increase was achieved in the 1st grade of high school, followed by a decline in the 2nd grade and a moderate recovery in the higher grades of high school. The results also indicate a methodological challenge in teaching the concept of Energy, as certain concepts are often taught in different grades using the same examples, leading students to perceive the content as already known and not bringing new understanding, which reduces motivation. To avoid this, in accordance with the curriculum and students' age, it is necessary to enable understanding of the essential processes through conceptual development and to harmonise the frameworks and diversity of teaching contexts for each grade, from simpler ones in primary school to integrated and interdisciplinary ones in high school.

**Keywords:** *energy; high school; conceptual understanding; concept development*