POPULACIJA RAKA KAMENJARA

(*Austropotamobius torrentium*) i fizičko-hemijske karakteristike vode rijeke Volujak



UDRUŽENJE AARHUS CENTAR U BIH

Autor: Saudin Merdan
Izdavač: Aarhus centar u Bosni i Hercegovini
Grafički dizajn: Vanja Lazić

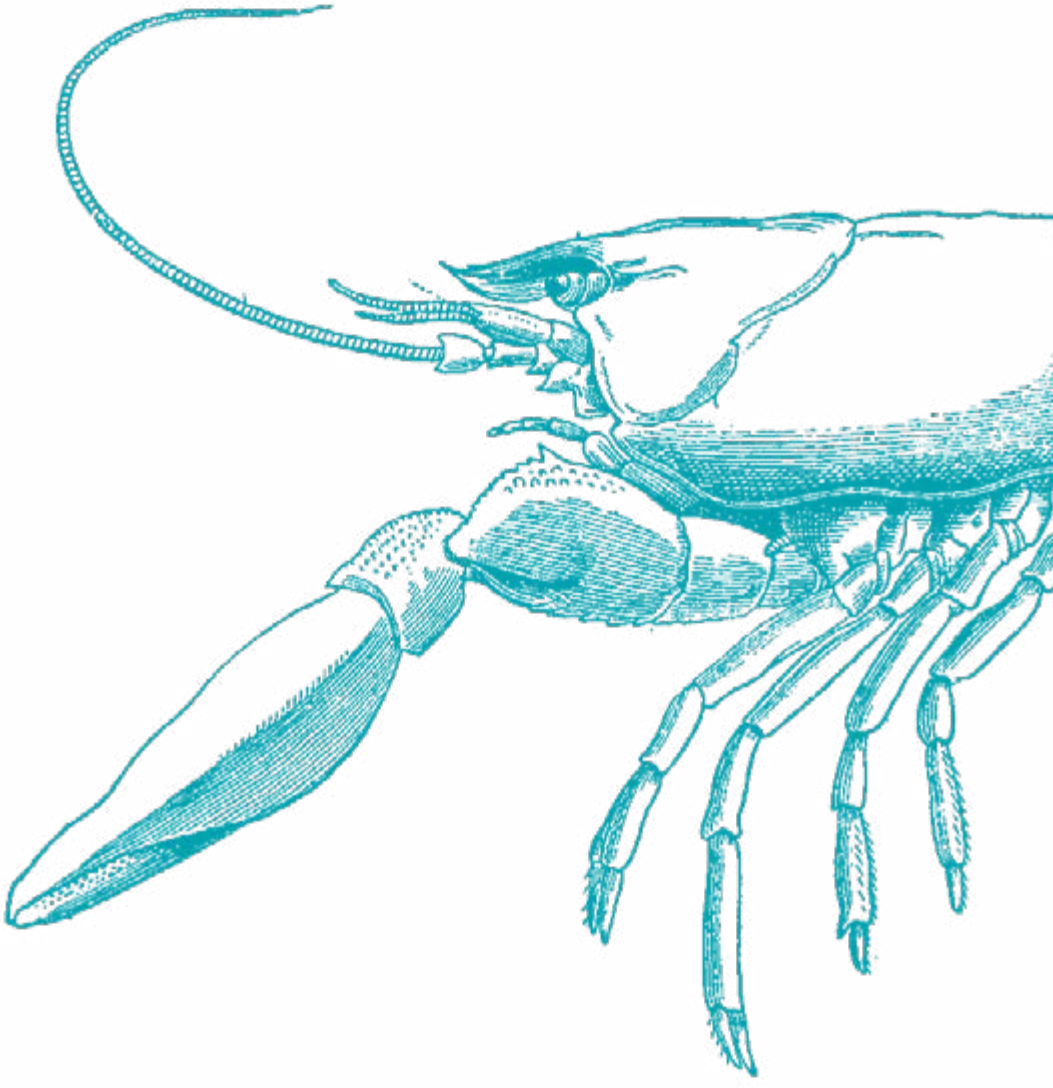
uz podršku: DONOR'S INITIATIVE FOR MEDITERRANEAN FRESHWATER ECOSYSTEMS (DIMFE) i GLOBAL GREENGRANTS FUND

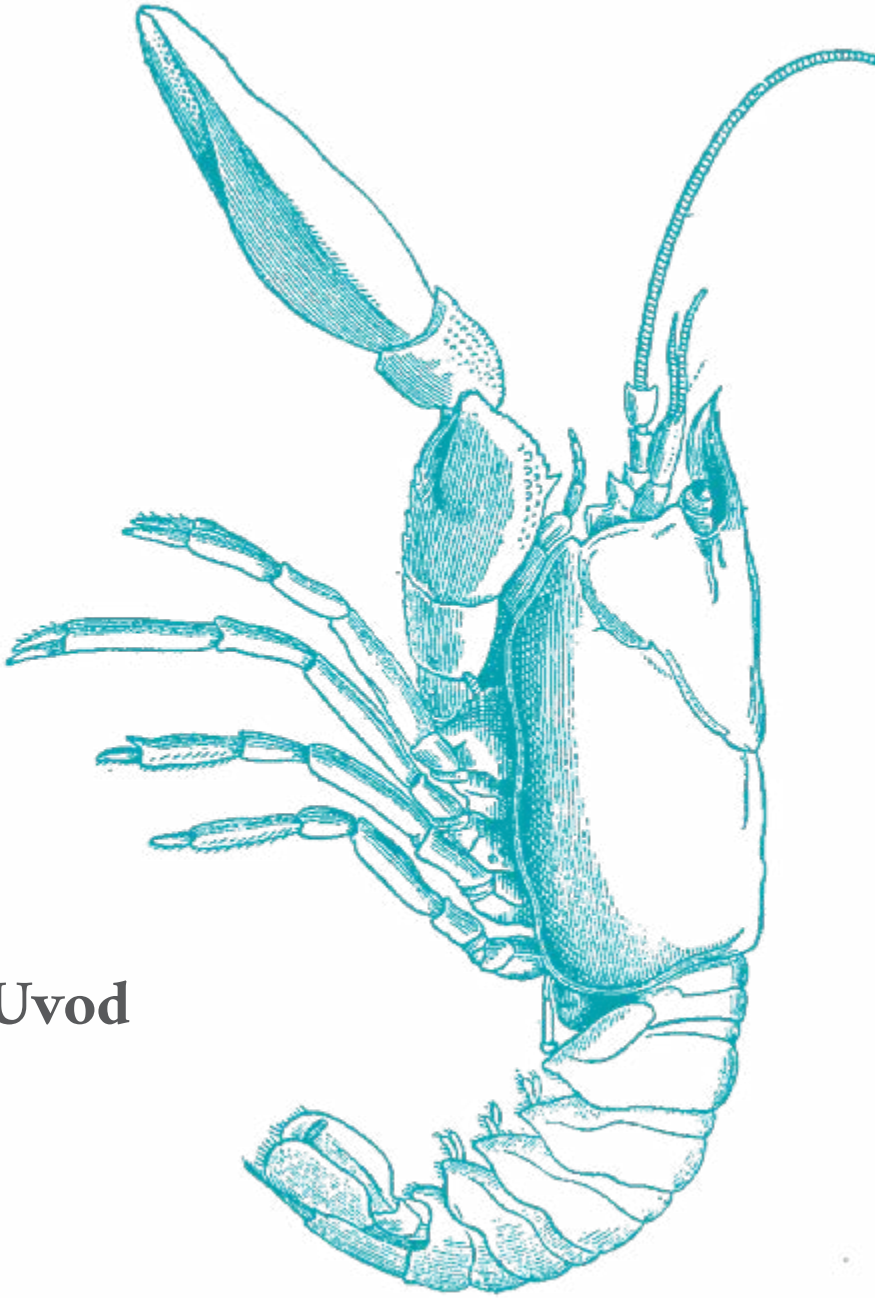




Ova publikacija je izrađena uz podrški Donatorske inicijative za mediteranske slatkovodne ekosisteme (DIMFE).

POPULACIJA RAKA KAMENJARA (*AUSTROPOTAMOBIUS TORRENTIUM*) I FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE VODE RIJEKE VOLUJAK





Uvod

Planinski potoci i rijeke Bosne i Hercegovine predstavljaju jedno od najvažnijih prirodnih bogatstava zemlje i dio su Dinarskog krša, prepoznatog kao jedan od centara biodiverziteta u Evropi (Klobučar et al., 2013). Njihovi gornji tokovi karakterišu se izuzetnom čistoćom, hladnoćom i bogatstvom kisika, te stoga predstavljaju ključne refugije za brojne osjetljive vrste slatkovodnih organizama (Füreder et al., 2006). U ovim staništima razvila se visoka biološka raznolikost koja svjedoči o njihovoj izuzetnoj ekološkoj vrijednosti i statusu kao dijela evropske prirodne baštine.

U ovim ekosistemima, rakovi iz porodice Astacidae zauzimaju posebno mjesto. Zbog svoje uloge u kruženju hranjivih tvari i uticaja na strukturu bentoskih zajednica, smatraju se ključnim vrstama (engl. *keystone species*), a zbog izražene osjetljivosti na promjene u okolišu, ujedno su i pouzdani pokazatelji ekološkog zdravlja voda (Füreder et al., 2006; Maguire, 2010). U Bosni i Hercegovini zabilježeno je prisustvo četiri autohtone vrste, a to su riječni rak (*Astacus astacus*), uskoškari rak (*Astacus leptactylus*), bjelonogi rak (*Austropotamobius pallipes*) i rak kamenjar (*Austropotamobius torrentium*) (Trožić-Borovac, 2011).

S obzirom na to da jadranski sliv u Bosni i Hercegovini predstavlja poznato stanište bjelonogog raka (*Austropotamobius pallipes*) (Trožić-Borovac et al., 2011), prvobitni cilj ovog istraživanja bio je provjeriti prisustvo te vrste u do sada neistraženoj rijeci Volujak. Međutim, terenski rad je doveo do neočekivanog i naučno izuzetno značajnog otkrića, potvrđujući umjesto toga prisustvo raka kamenjara (*Austropotamobius torrentium*). Značaj ovog otkrića je višestruk. Naime, rak kamenjar se smatra najosjetljivijom autohtonom vrstom raka na zagađenje i degradaciju staništa (Füreder et al., 2006). Kao hladnovodna vrsta, stanišno je vezan za očuvane, brze gorske vodotoke s kamenitim dnom (Streissl & Hödl, 2002; Maguire, 2010), a njegova rasprostranjenost u regiji pokazuje zanimljiv obrazac jer dominantno naseljava vodotoke crnomorskog sliva, dok je u jadranskom slivu zabilježen tek u nekoliko izoliranih, reliktnih populacija (Maguire et al., 2011). Prema Trožić-Borovac (2011), *Austropotamobius torrentium* je ranije naveden za područje Cetine (Karaman, 1929) i Glamoča (Šanda & Petrusek, 2009). Crvena lista Federacije Bosne i Hercegovine (2013) dodatno spominje lokalitet Potok kod Boračkog jezera, ali bez navođenja izvora ovog podatka. Vrijednost svake takve populacije dodatno je naglašena novijim filogeografskim istraživanjima koja su otkrila da *A. torrentium* nije jedinstvena cjelina, već kompleks duboko divergentnih genetičkih linija, od kojih su

mnoge endemične za područje Dinarida (Klobučar et al., 2013; Pavić, 2018). Upravo zbog te osjetljivosti, rijetkosti i genetičke posebnosti, ovo otkriće je dodatno naglasilo važnost hitnog istraživanja rijeke Volujak, posebno jer je na njoj planirana izgradnja MHE koja prijeti da uništi stanište prije nego što se njegove vrijednosti u potpunosti dokumentuju.

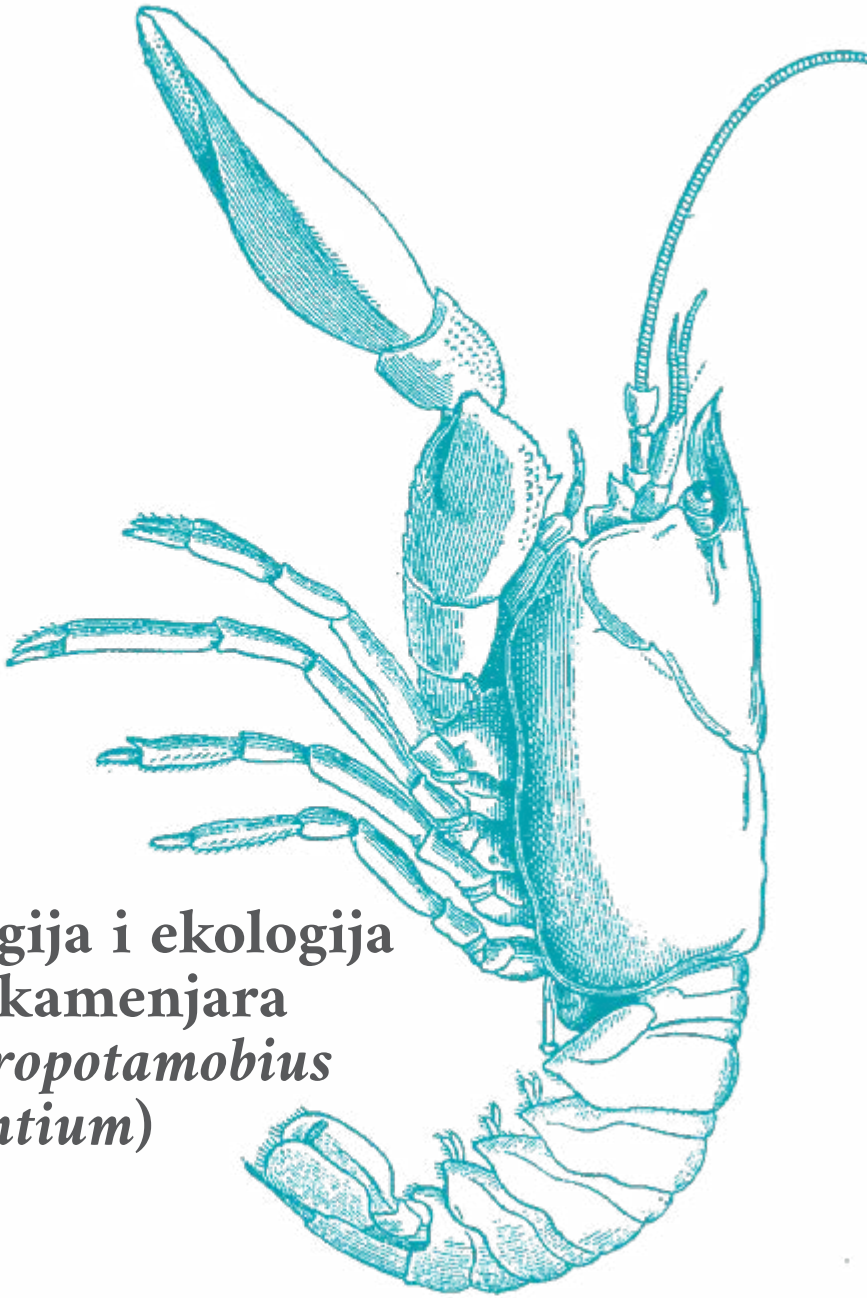
U posljednjim desetljećima, sve autohtone populacije rakova u Evropi suočavaju se s drastičnim padom brojnosti (Füreder et al., 2006). Glavne prijetnje uključuju gubitak i degradaciju staništa uslijed regulacije vodotoka, zagađenje, širenje invazivnih američkih vrsta rakova koje prenose račju kugu (*Aphanomyces astaci*) (Mrugała et al., 2017), te klimatske promjene koje uzrokuju sve izraženije ljetne suše (Maguire et al., 2018). U Bosni i Hercegovini, poseban pritisak na opstanak raka kamenjara predstavljaju infrastrukturni projekti, a naročito izgradnja malih hidroelektrana (MHE) koje direktno uništavaju njegova staništa.

Stoga, ovaj rad ima za cilj da predstavi prve detaljne podatke o novootkrivenoj populaciji raka kamenjara u rijeci Volujak, opiše osnovne ekološke karakteristike njenog staništa i pruži naučnu podlogu neophodnu za njenu dugoročnu zaštitu u kontekstu do sada oskudnih i dijelom nejasnih podataka o rasprostranjenosti ove vrste u jadranskom slivu Bosne i Hercegovine.

Slika 1. i 2. Kanjon rijeke Volujak u svom gornjem toku (foto: Saudin Merdan)



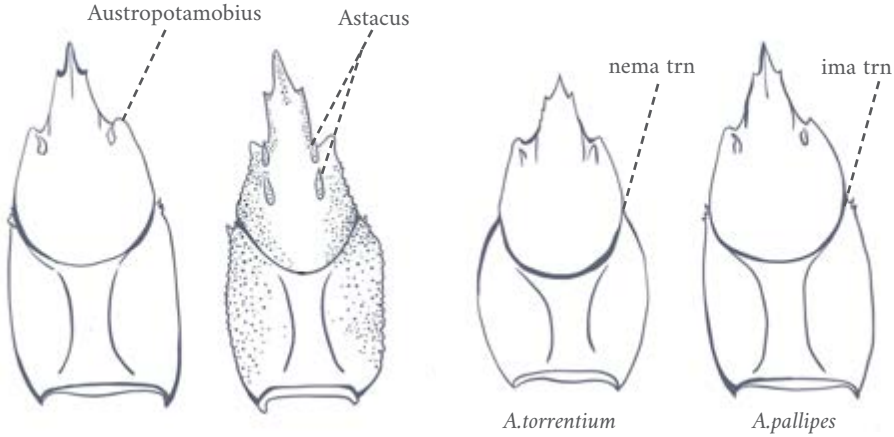




Biologija i ekologija raka kamenjara (*Austropotamobius torrentium*)

Morfološke karakteristike i identifikacija

Rak kamenjar (*Austropotamobius torrentium*) najmanja je autohtona europska vrsta porodice Astacidae, čija ukupna dužina tijela najčešće doseže do 11 cm, a iznimno može narasti i do 15 cm (Maguire, 2014). Za pouzdanu identifikaciju na terenu potrebno je obratiti pažnju na specifične morfološke karakteristike karapaksa. Najvažnija karakteristika je prisustvo samo jednog para postorbitalnih grebena, odnosno izbočina iza očiju, što je temeljna karakteristika cijelog roda *Austropotamobius* (Maguire, 2010; Maguire, 2014). Sljedeća ključna karakteristika je gladak karapaks iza cervikalne (poprečne) brazde, bez prisustva trnova. Upravo je odsustvo trnova na ovom dijelu tijela najpouzdanija karakteristika koja ga razlikuje od vrlo sličnog bjelonogog raka (*Austropotamobius pallipes*), koji na tom mjestu ima jedan ili više izraženih trnova (Maguire, 2010; Maguire, 2014). Njegov rostrum, ili glavin šiljak, kratak je i najčešće ima oblik jednakostraničnog trokuta, sa niskim i glatkim rubovima (Maguire, 2014). Kliješta su kod odraslih jedinki debela i široka, prekrivena krupnim zrncima, s karakterističnim udubljenjem na nepokretnom dijelu (Maguire, 2014).



Slika 3. Morfološke karakteristike karapaksa raka kamenjara (*A. torrentium*) i bjelonogog raka (*A. pallipes*), s označenim razlikama u postorbitalnim grebenima i prisustvu/odsustvu trnova iza cervikalne brazde (izvor: Maguire, 2010)

Stanište i način života

Rak kamenjar je specijalizirana vrsta prilagođena na hladna staništa i smatra se najosjetljivijom autohtonom vrstom raka na organsko zagađenje i degradaciju staništa (Füreder et al., 2006). Njegov opstanak vezan je isključivo za očuvane, čiste i kisikom bogate gorske vodotoke, poput izvorišnih zona i gornjih dijelova potoka i manjih rijeka na višim nadmorskim visinama (Maguire, 2014). Iako može preživjeti u vodotocima koji povremeno presušuju ako postoje stalne lokve koje služe kao refugiji, ključni element njegovog staništa je kamenito ili šljunkovito dno koje mu pruža obilje skloništa (Füreder et al., 2006). Aktivan je noću, dok dan provodi skriven ispod kamenja, u šupljinama stijena ili među korijenjem priobalne vegetacije (Maguire, 2010).

U pogledu prehrane, rak kamenjar je svaštojed (omnivor) i ima važnu ulogu u funkcionisanju riječnih ekosistema. Hrani se vodenom vegetacijom, organskim detritusom (lišće i grančice koje se raspadaju) te sitnim beskičmenjacima sa dna, čime sudjeluje u kruženju hranjivih tvari (Maguire, 2014).

Životni ciklus i reprodukcija

Životni ciklus raka kamenjara usko je povezan sa sezonskim promjenama, prvenstveno s temperaturom vode. Spolnu zrelost dostiže pri ukupnoj dužini tijela od oko 5,4 cm (Maguire, 2014). Parenje se odvija u kasnu jesen, najčešće u novembru, kada temperature vode opadnu. Nakon oplodnje, ženka polaže jajašca i nosi ih pričvršćene za plivaće nožice ispod zatka (abdomena) tokom cijele zime i proljeća (Maguire, 2014). Izlijeganje mladih se dešava u kasno proljeće ili rano ljeto, najčešće u junu, nakon čega se mlade jedinke još neko vrijeme zadržavaju uz majku prije nego što započnu samostalan život (Maguire, 2014).

Ugroženost i zaštita

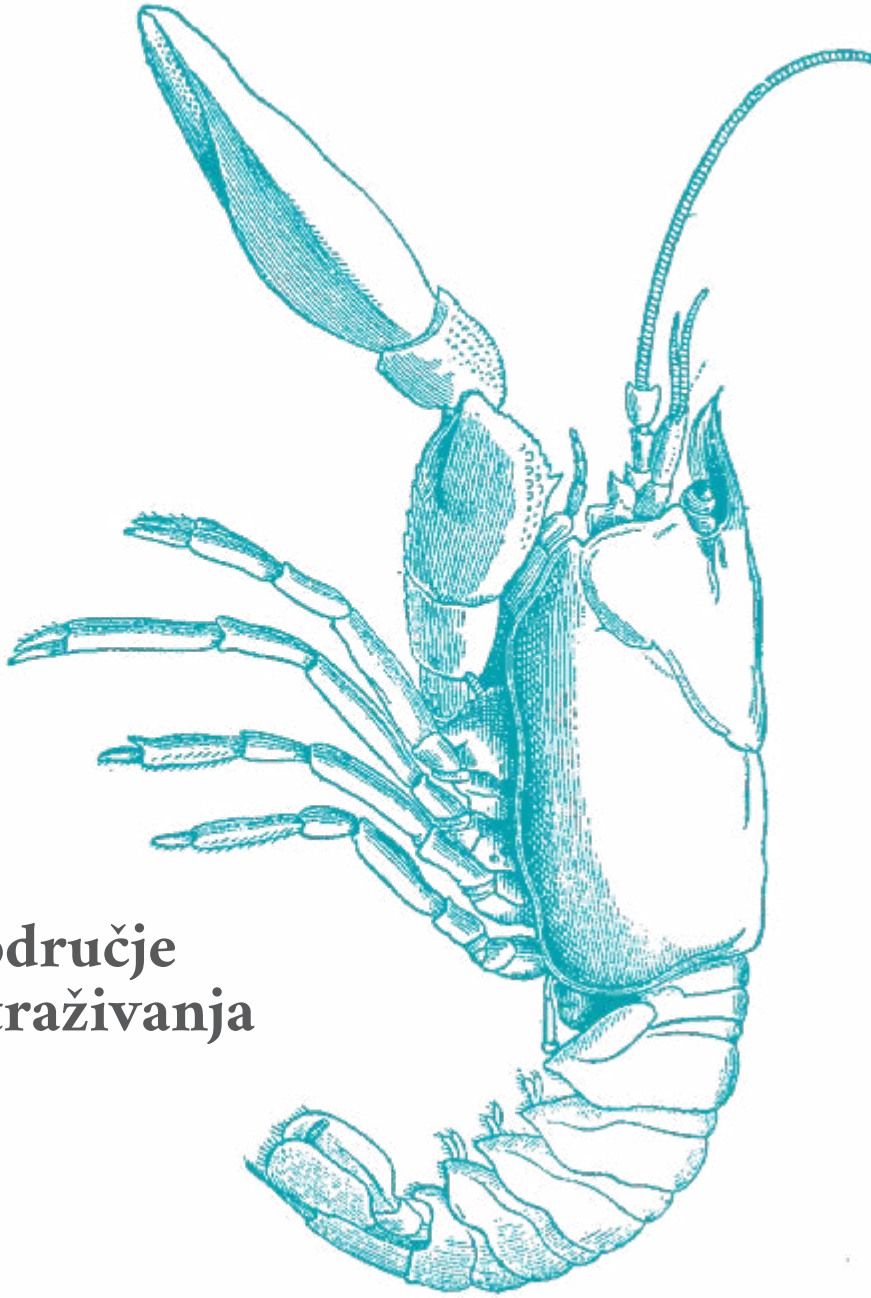
Zbog svoje osjetljivosti i specifičnih stanišnih zahtjeva, rak kamenjar je ugrožen u cijeloj Evropi. Glavne prijetnje su uništavanje i regulacija potoka i rijeka, zagađenje, unos invazivnih američkih vrsta rakova (koje prenose račju kugu), te klimatske promjene koje dovode do sve češćih ljetnih suša (Maguire, 2014).

Njegov službeni konzervacijski status definisan je kroz nekoliko ključnih međunarodnih mehanizama:

• U evropskom pravnom okviru, zaštićen je Bernskom konvencijom (Konvencija o zaštiti evropskih divljih vrsta i prirodnih staništa), gdje je uvršten na Dodatak III, što podrazumijeva da se njegovo korištenje i izlov moraju strogo regulirati.

• Najviši stupanj zaštite pruža mu Direktiva o staništima Evropske unije, gdje je uvršten na Dodatak II (kao vrsta od interesa za Zajednicu čije očuvanje zahtijeva određivanje posebnih područja očuvanja, tj. Natura 2000 područja) i na Dodatak V (kao vrsta čije izuzimanje iz prirode može biti predmet mjera upravljanja).

• Na Crvenoj listi FBiH, vrsta ima status ranjive (VU) vrste.



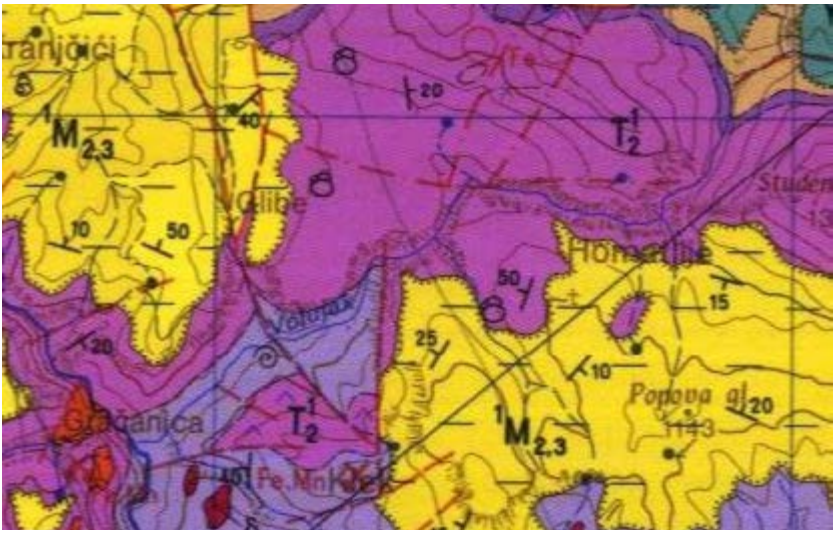
Područje istraživanja

Istraživanje je sprovedeno na rijeci Volujak, planinskom vodotoku u općini Prozor–Rama, koji hidrogeografski pripada jadranskom slivu. Rijeka Volujak ima izuzetno složenu, trodijelnu hidrologiju tipičnu za kraška područja. Gornji dio toka je hidrološki nestabilan, sa značajnim oscilacijama u protoku tokom godine. U središnjem dijelu, nedaleko ispod lokaliteta poznatog kao Veliki vir, riječna voda u periodima niskog vodostaja nestaje u ponoru. Zbog toga korito rijeke, u dužini od nekoliko kilometara nizvodno kroz kanjon, ostaje suho, sa izuzetkom nekoliko izolovanih, dubljih lokvi u kojima se voda zadržava. Nizvodno od te suhe zone, voda se ponovo pojavljuje u koritu, formirajući donji dio toka koji je hidrološki stabilan i ima stalan protok.

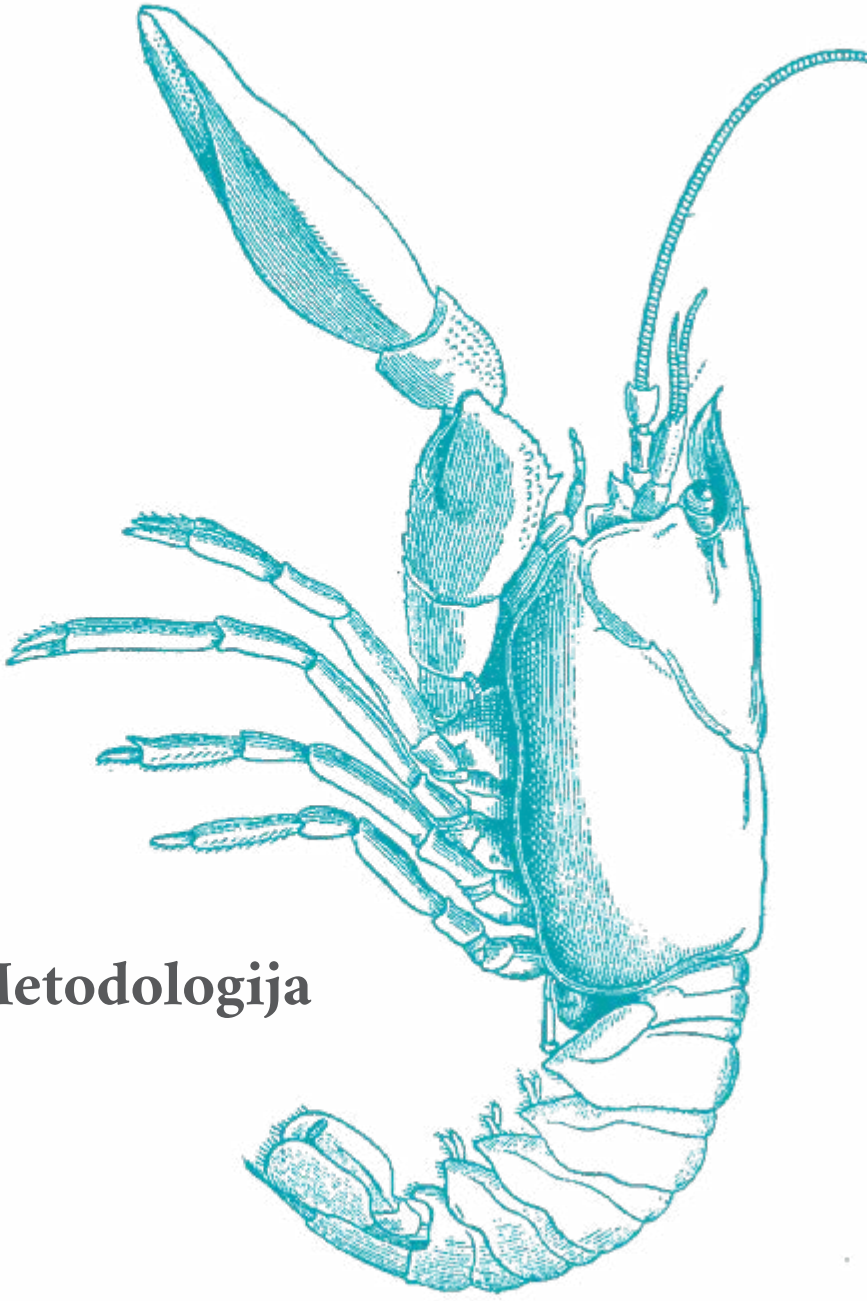


Slika 4. Suho korito rijeke Volujak u kanjonskom dijelu nizvodno od ponora tokom ljetnog perioda niskog vodostaja (foto: Saudin Merdan)

Ova složena hidrološka dinamika direktna je posljedica geološke građe terena, kako je prikazano na Osnovnoj geološkoj karti (Sofilj, J., & Živanović, M. 1980) i u pratećem tumaču za list Prozor (Sofilj et al., 1980). Kanjonski dio rijeke primarno je usječen u vodopropusne mezozojske karbonate, dominantno trijaske slojevite i bankovite krečnjake i dolomite (oznake T^1_2 i T^2_1). S druge strane, okolne, više zaravni izgrađene su od mlađih miocenskih naslaga, koje se sastoje od podinskih breča, konglomerata i pješčenjaka sa proslojcima vodonepropusnih glina i laporaca (oznaka $^1M_{2,3}$). Ove nepropusne naslage djeluju kao hidrogeološka barijera, usmjeravajući površinske vode prema kanjonu i intenzivirajući proces poniranja na kontaktu sa propusnim trijaskim karbonatima. Cijelo područje je dodatno ispresijecano brojnim rasjedima koji predstavljaju zone mehanički zdrobljenih stijena. Ovi rasjedi djeluju kao primarni kanali za poniranje površinske vode u podzemlje i direktno kontrolišu lokacije ponora i kasnijih izvora. Upravo ta izražena kraška priroda terena, sa složenom interakcijom propusnih i nepropusnih stijena, stvara specifične i često ekstremne uslove za život akvatičnih organizama (Klobučar et al., 2013). Raspadanjem ovih stijena nastaje i karakterističan supstrat korita od krupnog kamenja, koji rakovima pruža idealna skloništa (Streissl & Hödl, 2002).



Slika 5. Isječak Osnovne geološke karte SFRJ 1:100 000, list Prozor (K 33-12), koji prikazuje geološku građu područja oko rijeke Volujak



Metodologija

Terenski rad i prikupljanje podataka

Terenska istraživanja obuhvatila su tri izlaska tokom 2025. godine, u junu, augustu i septembru, kako bi se obuhvatile različite hidrološke i sezonske prilike. Odabir istraživačkih dionica prilagođen je specifičnoj hidrologiji rijeke. Prva istraživačka dionica obuhvatila je donji, hidrološki stabilan tok rijeke u blizini naselja Gračanica. Druga istraživačka dionica fokusirala se na područje od sela Marići do lokaliteta Veliki vir. Ovaj dio predstavlja ključni refugij populacije, smješten na samom kraju gornjeg, nestabilnog toka, neposredno uzvodno od glavnog ponora.





Slika 6. Izgled donjeg, hidrološki stabilnog toka rijeke Volujak (foto: Mladen Topić)
Slika 7. Glavni ponor na rijeci Volujak, nizvodno od lokaliteta Veliki vir (foto: Saudin Merdan)

Za prikupljanje podataka korištena je kombinacija metoda koja uključuje vizualni pregled korita, ručno pretraživanje ispod kamenja i u zaklonima, te postavljanje zamki (vrša), što predstavlja standardni pristup u inventarizaciji ove vrste (Maguire, 2014). Primijenjen je standardizovani transektni pristup, gdje su sistematski pregledane dionice korita različite dužine, zavisno od pristupačnosti terena.

Identifikacija ulovljenih jedinki na razinu vrste vršena je na terenu korištenjem ključa za determinaciju slatkovodnih rakova (Maguire, 2010). Sve jedinke su determinisane kao rak kamenjar (*Austropotamobius torrentium*) na temelju ključnih morfoloških karakteristika koje ga razlikuju od srodnih vrsta, prisustva samo jednog para postorbitalnih grebena te glatkog karapaksa bez trnova iza cervikalne brazde (Maguire, 2010).

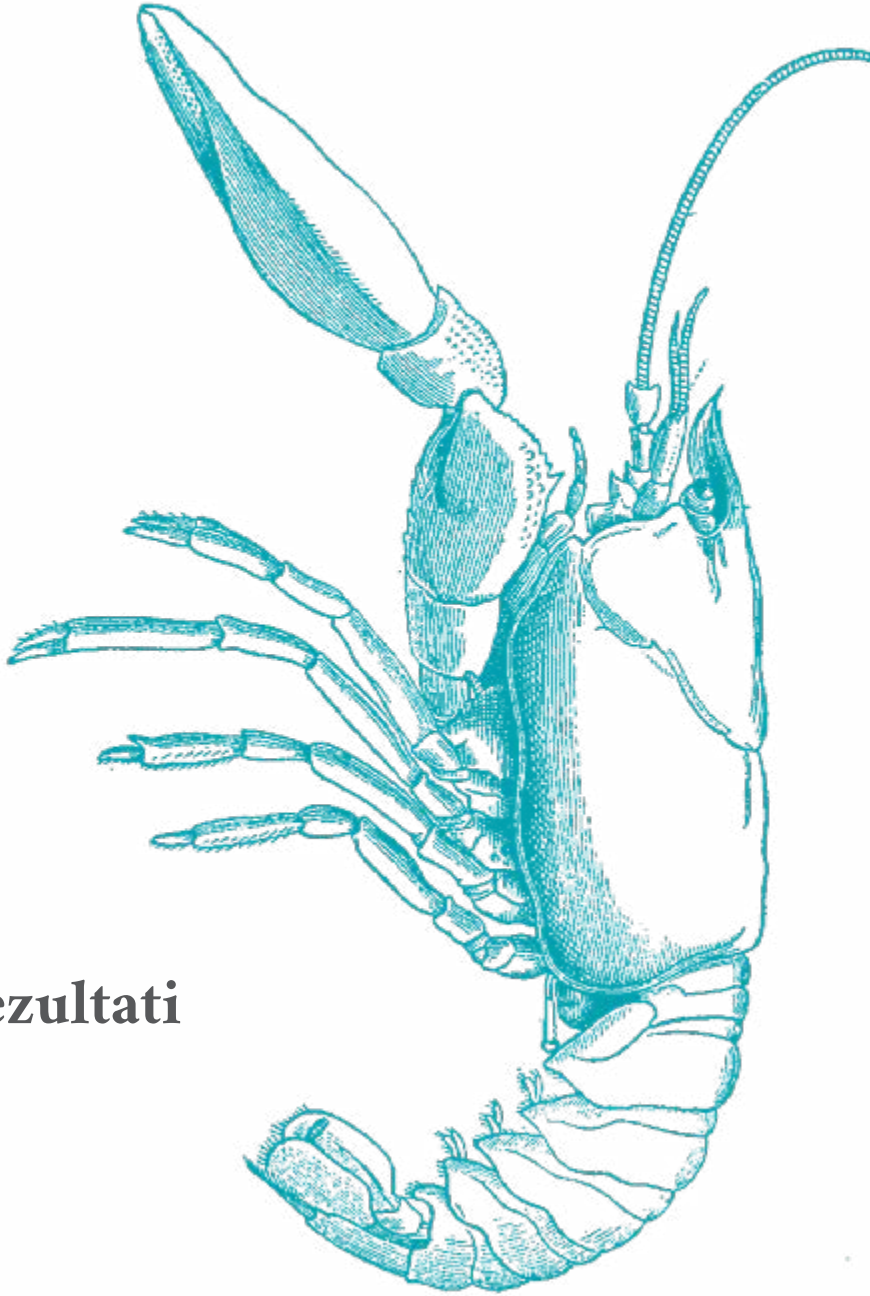
Jedinke koje su pronađene privremeno su izdvajane radi dokumentovanja i fotografisane u prenosnoj svjetlosnoj komori sa LED osvjetljenjem, što je omogućilo jasno uočavanje morfoloških karaktera. Nakon fotografisanja, jedinke su odmah vraćene na mjesta gdje su pronađene, pazeći da se prilikom puštanja u vodu oslobodi zrak potencijalno zarobljen ispod karapaksa, kako je preporučeno u stručnoj literaturi (Maguire, 2014). Posebna pažnja posvećena je bilježenju mikrohabitatnih karakteristika u kojima su rakovi zabilježeni, uključujući tip substrata, dubinu vode, prisustvo vodene vegetacije, detritusa i potencijalnih zaklona, kao i registraciju eventualnih ektoparazita poput crvića iz porodice Branchiobdellidae (Klobučar et al., 2006).

Analiza fizičko-hemijskih parametara

Pored opažanja jedinki, mjerene su i *in situ* fizičko–hemijske karakteristike vode. Temperatura, pH vrijednost i koncentracija rastvorenog kiseonika određivani su na licu mjesta, uz upotrebu standardizovanih, kalibrisanih instrumenata (Lutron DO-5519 i Lutron PH-220). Mjerenje ovih parametara ključno je za procjenu kvalitete staništa za rakove (Maguire, 2010). Mjerenja su vršena unutar obje istraživane dionice radi dobijanja reprezentativnih podataka.



Slika 8. *In situ* mjerenje fizičko-hemijskih parametara vode na rijeci Volujak (foto: Mladen Topić)



Rezultati

Faunistički nalazi

Istraživanje sprovedeno tokom tri terenska obilaska u junu, augustu i septembru 2025. godine potvrdilo je prisustvo autohtone vrste rak kamenjar (*Austropotamobius torrentium*) u rijeci Volujak. Ukupno je registrovano 36 jedinki na različitim mikrolokalitetima, što jasno ukazuje na postojanje stabilnog i reproduktivno aktivnog jezgra populacije u ovom području.

Nalazi su se razlikovali ovisno o istraživanoj dionici. Tokom prvog terenskog izlaska u junu, na donjem, hidrološki stabilnom toku (dionica od sela Gračanica do podnožja Donjevačke stijene), zabilježena je niska brojnost. Vizuelnim pregledom registrovane su samo dvije odrasle jedinke, dok je pet postavljenih zamki ostalo bez ulova, što sugerira nisku gustoću populacije u ovom dijelu rijeke.

Znatno veća brojnost utvrđena je tokom istraživanja u augustu i septembru na gornjoj dionici (od sela Marići do lokaliteta Veliki vir), koja funkcioše kao ključni refugij populacije. Na ovom potezu potvrđeno je prisustvo većeg broja jedinki, uključujući i juvenilne primjerke, što je jasan pokazatelj aktivne reprodukcije i održivosti populacije. Na istom potezu, u suhom koritu nizvodno od ponora, registrovano je i nekoliko mrtvih jedinki. Značajno je napomenuti da su sve uginule jedinke pronađene isključivo u izolovanim, dubljim lokvama u kojima se voda zadržala nakon poniranja rijeke.

Slika 9.- 12. Rak kamenjar (*Austropotamobius torrentium*) (foto: Saudin Merdan)









Kod više živih jedinki uočeno je prisustvo ektoparazitskih crva iz porodice Branchiobdellidae, koji su kolonizirali površinu egzoskeleta.

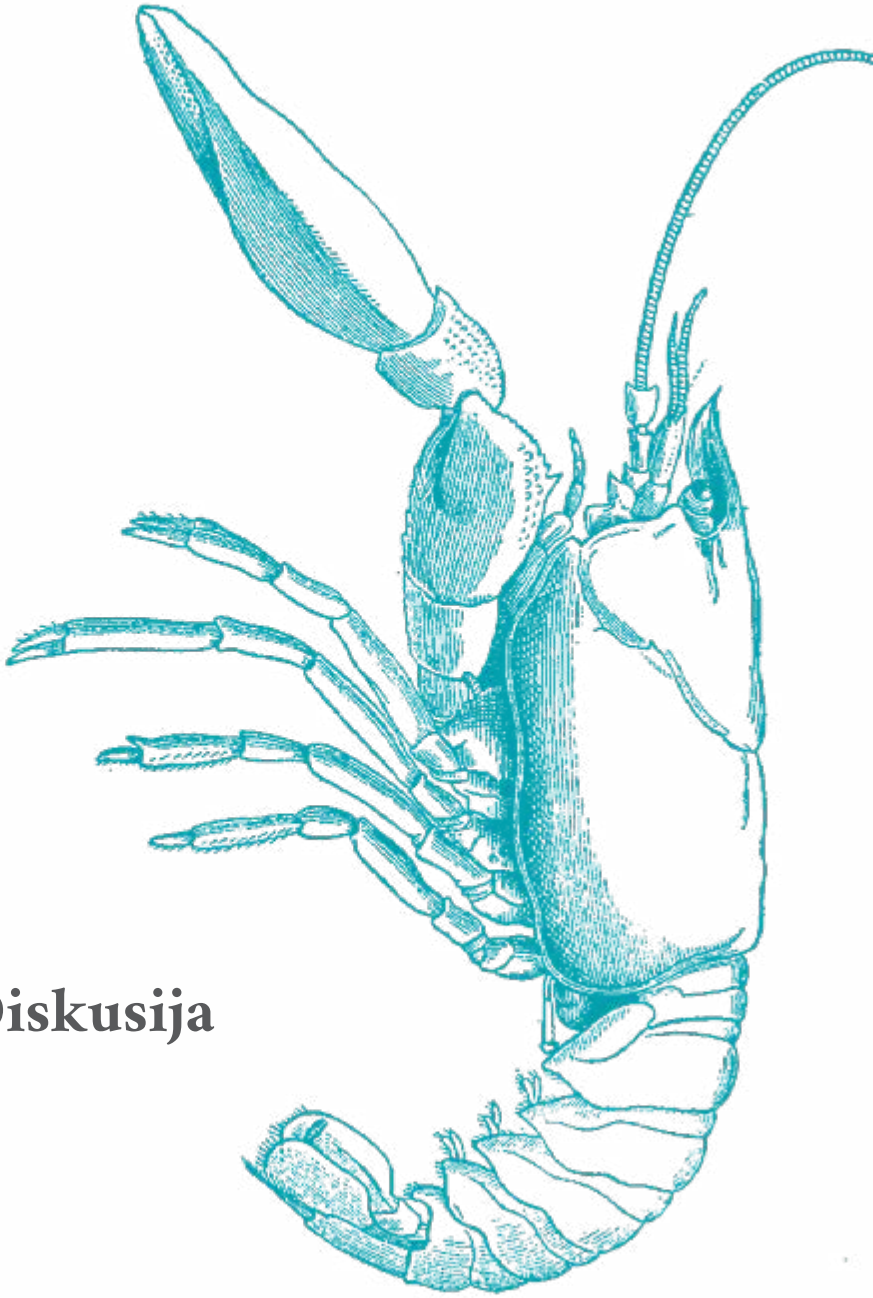
Karakteristike staništa i fizičko-hemijski parametri vode

Mikrohabitatna analiza pokazala je da jedinke najčešće borave u područjima sa izraženim kamenitim dnom, ispod većih oblutaka i stijena, te u dubljim virovima sa mirnijim tokom. Takva mjesta obezbjeđuju zaštitu od predatora i stabilnije mikroklimatske uslove, što je ključno za opstanak vrste (Maguire, 2014). Veći broj jedinki zabilježen je u zasjenjenim dionicama, gdje vegetacija duž obala dodatno doprinosi stvaranju pogodnog mikroklimata.

Fizičko–hemijski parametri izmjereni tokom istraživanja (Tabela 1.) ukazali su na stabilne uslove tipične za očuvane gorske vodotoke. Izmjerene vrijednosti temperature, pH i otopljenog kisika bile su u rasponima koji se u literaturi opisuju kao optimalni za *A. torrentium* (Streissl & Hödl, 2002; Füreder et al., 2006), čime se potvrđuje da ovaj vodotok pruža stabilno i povoljno okruženje za dugoročno opstajanje vrste.

Parametar	Lokacija: Podnožje Donje-vačke stijene (10.06.2025.)	Lokacija: Ponor (13.09.2025.)
Temperatura vode (°C)	15,5	13,3
pH vrijednost	8,16	8,30
Kisik (mg/L)	10,4	9,2

Tabela 1. Vrijednosti fizičko-hemijskih parametara vode zabilježenih na rijeci Volujak



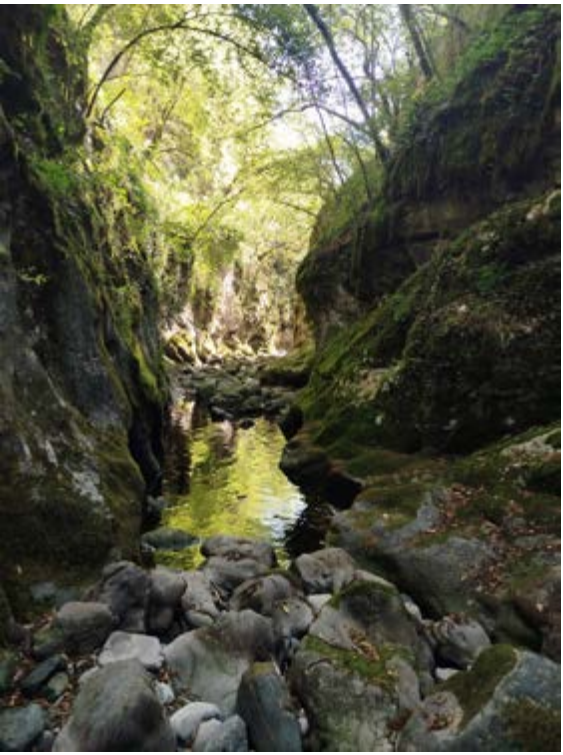
Diskusija

Rezultati ovog istraživanja potvrđuju postojanje stabilne i reproduktivno aktivne populacije raka kamenjara (*Austropotamobius torrentium*) u gornjem toku rijeke Volujak, čime je naučno potvrđuje prisustvo vrste u jadranskom slivu Bosne i Hercegovine.

Značaj populacije na Volujku dodatno je naglašen njenim vjerovatnim filogeografskim kontekstom. Na temelju sveobuhvatnih genetičkih istraživanja u regiji, populacije raka kamenjara iz jadranskog sliva pripadaju drevnoj i genetički jedinstvenoj evolucijskoj liniji "Lika i Dalmacija (LD)", koja se od populacija iz crnomorskog sliva odvojila još u pliocenu (Klobučar et al., 2013). Genetičke distance između ove filogrupe i drugih linija su izuzetno velike, često u rangu razlika između zasebnih vrsta, što ukazuje na dugu historiju izolacije i neovisne evolucije (Klobučar et al., 2013). Novije i još detaljnije genetičke analize (Lovrenčić et al., 2020) koje su uključivale i mitohondrijsku i nuklearnu DNK potvrdile su postojanje ovih duboko divergentnih linija, te predložile da se svaka od njih treba smatrati zasebnom "evolucijski značajnom jedinicom" (ESU) od najvišeg prioriteta za zaštitu. Populacija s Volujka najveovatnije pripada ovoj liniji, što je čini nositeljem jedinstvenog genetskog nasljeđa i svrstava je u prioritete za zaštitu na evropskoj razini.

Prisustvo vitalne populacije na Volujku, potvrđeno i nalazom juvenilnih jedinki, direktno je povezano s očuvanim ekološkim uslovima. Izmjerene fizičko-hemijske vrijednosti, koje uključuju hladnu vodu (13.3-15.5 °C), visoku koncentraciju rastvorenog kisika (9.2-10.4 mg/L) i blago alkalni pH (8.16-8.30), u potpunosti odgovaraju optimalnim zahtjevima vrste. Rak kamenjar se smatra vrstom koja preferira niske temperature, rijetko podnoseći vrijednosti iznad 20 °C, i zahtijeva visoku zasićenost kiseonikom, što ga čini najosjetljivijom autohtonom vrstom na organsko zagađenje i eutrofikaciju (Füreder et al., 2006). Struktura staništa, sa kamenitim dnom i brojnim zaklonima, također je ključna za opstanak rakova, pružajući im zaštitu od predatora i hidroloških ekstrema (Streissl & Hödl, 2002; Maguire, 2014). Dodatni pokazatelj zdravog ekosistema je i prisustvo ektoparazitskih crva iz porodice Branchiobdellidae, koji se smatraju prirodnim simbiontima zdravih i gustih populacija autohtonih rakova u regiji (Klobučar et al., 2006).

Ipak, istraživanje je otkrilo i izraženu ranjivost populacije, koja je direktna posljedica specifične kraške hidrologije rijeke. Nalaz uginulih jedinki isključivo u izolovanim lokvama unutar suhog kanjona jasan je dokaz o ljetnom mortalitetu uzrokovanom prekidom protoka, što dovodi do nedostatka kiseonika i porasta temperature. Iako *A. torrentium* može preživjeti u vodotocima koji povremeno presušuju ukoliko postoje stalne lokve koje služe kao refugiji, te izolovane lokve na Volujku očito postaju smrtonosne zamke. Ovo opažanje služi kao prirodni eksperiment koji pokazuje da je opstanak populacije u gornjem toku apsolutno ovisan o kontinuiranom protoku svježe vode. Ovaj problem nije samo lokalan, istraživanja u susjednoj Hrvatskoj pokazuju alarmantan trend nestanka 67% populacija rakova u jadranskom slivu upravo zbog sve izraženijih ljetnih suša i antropogenih promjena staništa (Maguire et al., 2018).

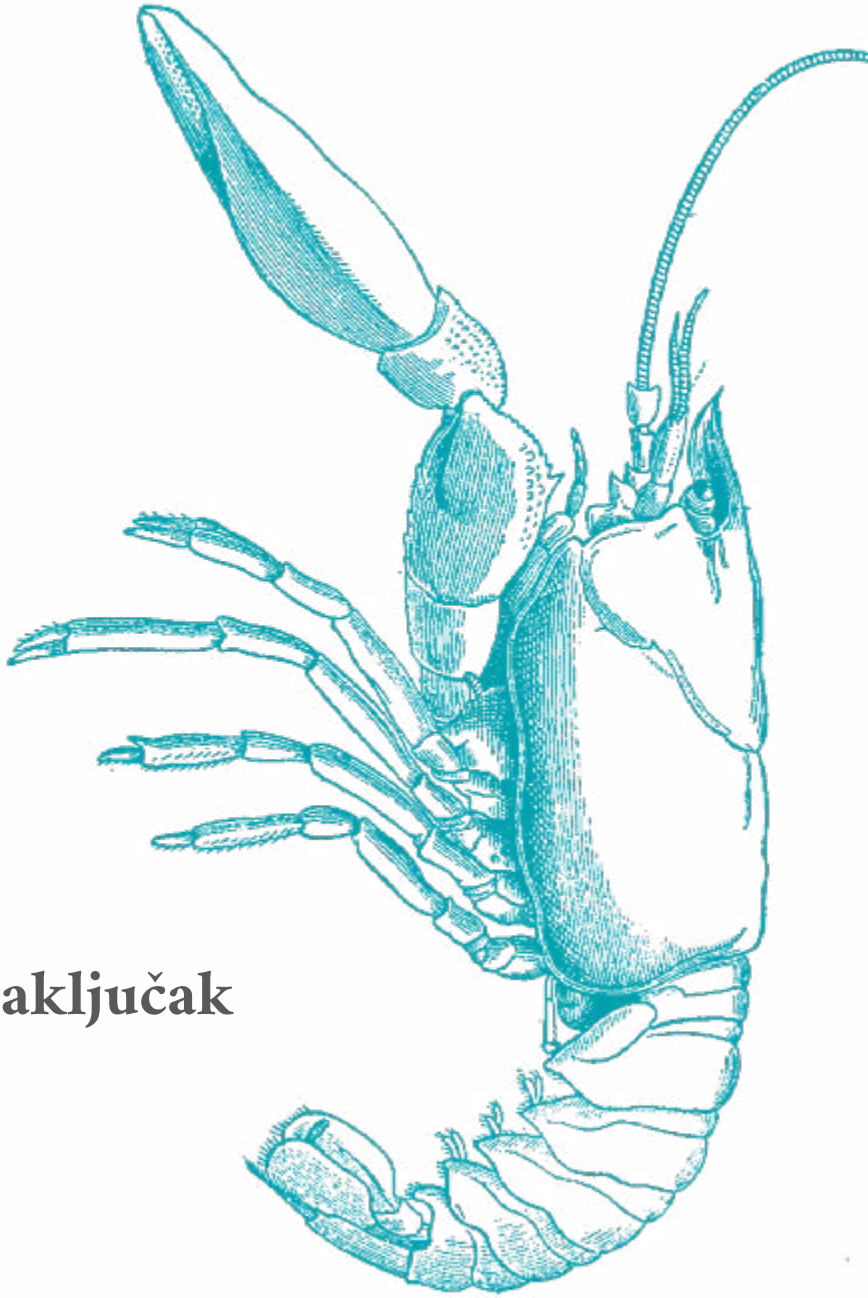




Slika 9. Izolovana lokva u suhom koritu rijeke Volujak (foto: Saudin Merdan)
Slika 10. Uginula jedinka raka kamenjara (*Austropotamobius torrentium*) u izolovanoj lokvi (foto: Saudin Merdan)

Usporedbom sa drugim istraženim populacijama raka kamenjara u Bosni i Hercegovini, koje se gotovo isključivo nalaze u crnomorskom slivu, uočava se da je populacija na Volujku suočena sa fundamentalno drugačijim setom prijetnji. Dok su populacije u crnomorskom slivu primarno ugrožene hroničnim organskim zagađenjem iz objekata akvakulture ili zahvatanjem vode za poljoprivredu (Roljić et al., 2020; Trožić-Borovac et al., 2022), populacija na Volujku se suočava s fundamentalno drugačijim i egzistencijalnim setom prijetnji. Kao prvo, njeno postojanje je već prirodno limitirano ekstremnom kraškom hidrologijom, gdje sezonsko poniranje vode u srednjem dijelu toka stvara dramatičan "efekt uskog grla" i uzrokuje mortalitet, kako je i zabilježeno u ovom istraživanju. Kao drugo, neposredna antropogena prijetnja nije zagađenje, već planirana izgradnja male hidroelektrane (MHE). Takav zahvat bi predstavljao katastrofalnu i trajnu promjenu hidrološkog režima na koji je ova populacija milenijima prilagođena, te je prijetnja drugačije prirode i neusporedivo većeg obima od onih zabilježenih na vodotocima u crnomorskom slivu. Ova usporedba stoga dodatno naglašava specifičnost i ranjivost populacije na rijeci Volujak.

U tom kontekstu, nalazi ovog istraživanja imaju presudne konzervacijske implikacije. Najozbiljnija direktna prijetnja populaciji u Volujku je planirana izgradnja male hidroelektrane. Takvi projekti uzrokuju drastične promjene u hidrologiji, temperaturi i transportu sedimenta, što za izrazito osjetljivu vrstu poput *A. torrentium* gotovo sigurno znači nestanak (Füreder et al., 2006). S obzirom na to da je populacija na Volujku već prirodno ugrožena ljetnim presušivanjem dijela toka, bilo kakvo dodatno smanjenje protoka vode imalo bi katastrofalne posljedice. Uzimajući u obzir i druge prijetnje poput mogućeg unosa račje kuge, čije je prisustvo potvrđeno u BiH (Mrugała et al., 2017), i općeg pada brojnosti vrste u Evropi, očuvanje rijeke Volujak u njenom prirodnom stanju nameće se kao apsolutni prioritet, u skladu s međunarodnim obavezama poput Bernske konvencije i Direktive o staništima EU.



Zaključak

Istraživanje provedeno na rijeci Volujak u općini Prozor–Rama potvrdilo je prisustvo autohtone vrste raka kamenjara (*Austropotamobius torrentium*), koja je u Bosni i Hercegovini od izuzetne ekološke i konzervacijske vrijednosti. Nalaz stabilne i reproduktivno aktivne populacije, potvrđen prisustvom juvenilnih jedinki, svjedoči o očuvanosti prirodnih uslova i postojanju visokokvalitetnog riječnog ekosistema. Analizirani fizičko-hemijski parametri vode potvrdili su da gornji tok Volujaka odgovara optimalnim zahtjevima vrste *A. torrentium* (Streissl & Hödl, 2002; Füreder et al., 2006). Time se Volujak svrstava među rijetke rijeke koje i dalje nude uslove pogodne za razvoj autohtonih rakova, čija staništa u Evropi ubrzano nestaju pod pritiscima modernih ljudskih aktivnosti (Füreder et al., 2006; Maguire et al., 2018).

Naučni značaj ovog otkrića je višestruk. Ovo istraživanje donosi nove naučno potvrđene podatke o prisustvu raka kamenjara u jadranskom slivu Bosne i Hercegovine. Štoviše, s obzirom na geografski položaj, ova populacija vjerojatno predstavlja do sada neotkrivenog člana genetički jedinstvene "Lika i Dalmacija" filogeografske linije, evolucijski izolovane još od pliocena (Klobučar et al., 2013). Genetičke distance između ove filogrupe i drugih linija su izuzetno velike, često u rangu razlika između zasebnih vrsta, što ukazuje na dugu historiju izolacije, a potvrđene su i morfološke razlike (Klobučar et al., 2013; Pavić, 2018).

Rezultati ovog istraživanja imaju i snažnu praktičnu poruku jer je populacija na Volujaku, iako vitalna, izuzetno ranjiva. Zabilježeni mortalitet rakova u presušenim dijelovima korita tokom ljeta jasan je pokazatelj koliko je populacija osjetljiva na promjene u režimu protoka vode, što je direktna posljedica kraške hidrologije. Ova prirodna ranjivost čini populaciju dodatno osjetljivom na antropogene prijetnje, od kojih je najopasnija planirana gradnja male hidroelektrane (MHE). Iskustva iz regije jasno pokazuju da takvi projekti u gornjim tokovima rijeka dovode do degradacije staništa, izmjene hidrologije i nestanka osjetljivih vrsta poput raka kamenjara (Maguire et al., 2018).

Dodatnu sigurnost ovom staništu pruža i zakonodavni okvir u Federaciji BiH, gdje je od 2022. godine na snazi zabrana planiranja i gradnje novih MHE do 10 MW. Ipak, praksa pokazuje da pokušaji zaobilaženja takvih odluka nisu rijetkost, te je upravo zato naučna dokumentacija, kakva je pružena ovim istraživanjem, ključni alat u zaštiti rijeke Volujak.

Na temelju svih prikupljenih podataka, Volujak se mora označiti kao prirodni refugij od nacionalnog i međunarodnog značaja. Dugoročno, preporučuje se uspostava sistematskog monitoringa populacije i kvaliteta staništa, u skladu sa postojećim naučnim smjernicama (Maguire, 2014). Ovaj monitoring mora uključivati i genetička istraživanja kako bi se utvrdila tačna filogeografska pripadnost populacije s Volujka i njen status kao potencijalno jedinstvene evolucijski značajne jedinice (ESU), pri čemu se kao metodološki okvir mogu koristiti najnovija istraživanja provedena u regiji (Lovrenčić et al., 2020). Zaključno, rijeka Volujak nije samo lokalni prirodni resurs, već vrijedan element evropske mreže prirodnih staništa koji zaslužuje trajnu i strogu zaštitu, a svako zadiranje u ovaj sistem kroz hidroenergetske projekte predstavljalo bi nepovratni gubitak za bosanskohercegovačku i evropsku prirodnu baštinu.

Literatura

Council of Europe. (1979). *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Bern Convention)*. Bern, Switzerland. https://www.coe.int/en/web/bern-convention

Council of the European Union. (1992). *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (Habitats Directive)*. Official Journal of the European Communities, L206, 7–50. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31992L0043

Federalno ministarstvo okoliša i turizma. (2013). *Crvena lista ugroženih biljnih i životinjskih vrsta Federacije Bosne i Hercegovine.* Sarajevo: Federalno ministarstvo okoliša i turizma.

Füreder, L., & Reynolds, J. D. (2003). Is *Austropotamobius pallipes* a good bioindicator? *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 370–371*, 157–163.

Füreder, L., Edsman, L., Holdich, D., Kozák, P., Machino, Y., Pöckl, M., Renai, B., Reynolds, J., Schulz, H., Schulz, R., Sint, D., Taugbøl, T., & Trouilhé, M. C. (2006). Indigenous crayfish: Habitat and threats. In C. Souty-Grosset, D. M. Holdich, P. Y. Noël, J. D. Reynolds, & P. Haffner (Eds.), *Atlas of Crayfish in Europe* (pp. 25–47). Muséum national d'Histoire naturelle.

Karaman, S. (1929). Die Potamobiiden Jugoslaviens. *Glasnik Zemaljskog Muzeja u Bosni i Hercegovini, 41*, 147–150.

Klobučar, G. I. V., Maguire, I., Gottstein, S., & Gelder, S. R. (2006). Occurrence of Branchiobdellida (Annelida: Clitellata) on freshwater crayfish in Croatia. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, 42*(4), 251–260.

Klobučar, G., Podnar, M., Jelić, M., Franjević, D., Faller, M., Štambuk, A., Gottstein, S., Simić, V., & Maguire, I. (2013). Role of the Dinaric Karst (western Balkans) in shaping the phylogeographic structure of the threatened crayfish *Austropotamobius torrentium. Freshwater Biology, 58*(6), 1089–1105.

Kouba, A., Petrusek, A., & Kozák, P. (2014). Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: Update and maps. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 413*, 05.

Lovrenčić, L., Bonassin, L., Boštjančić, L. L., Podnar, M., Jelić, M., Klobučar, G., Jaklič, M., Slavevska-Stamenković, V., Hinić, J., & Maguire, I. (2020). New insights into the

genetic diversity of the stone crayfish: Taxonomic and conservation implications. *BMC Evolutionary Biology, 20*(1), 146.

Maguire, I. (2010). *Slatkovodni rakovi*: *Priručnik za inventarizaciju i praćenje stanja.* Državni zavod za zaštitu prirode.

Maguire, I. (2014). *Nacionalni programi za praćenje stanja očuvanosti vrsta u Hrvatskoj*: *Potočni rak ili rak kamenjar Austropotamobius torrentium* (*Schrank, 1803*). Državni zavod za zaštitu prirode.

Maguire, I., Jelić, M., & Klobučar, G. (2011). Update on the distribution of freshwater crayfish in Croatia. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 401*, 31.

Maguire, I., Klobučar, G., Žganec, K., Jelić, M., Lucić, A., & Hudina, S. (2018). Recent changes in distribution pattern of freshwater crayfish in Croatia: Threats and perspectives. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 419*, 2.

Mrugała, A., Šanda, R., Petrusek, A., Marić, D., & Vukić, J. (2015). First record of *Aphanomyces astaci* infection in stone crayfish *Austropotamobius torrentium* from the Balkans: Possible spread of the crayfish plague disease in southeastern Europe. *Journal of Invertebrate Pathology, 128*, 1–6.

Reynolds, J. D., Souty-Grosset, C., & Richardson, A. M. M. (2013). Ecological roles of crayfish in freshwater and terrestrial habitats. *Freshwater Crayfish, 19*(2), 197–218.

Roljić, R., Nikolić, V., & Savić, N. (2020). *Morphological variability and sexual dimorphism of stone crayfish Austropotamobius torrentium from the Marjanovića Stream* (*Bosnia and Herzegovina*). Kragujevac Journal of Science, 42, 143–150.

Šanda, R., & Petrusek, A. (2009). Distribution and diversity of crayfishes in the Adriatic drainage of Bosnia and Herzegovina. In P. Kozák & A. Kouba (Eds.), *Abstract Book – Future of Native Crayfish in Europe*: *Regional European Crayfish Workshop* (p. 50.7). Písek, Czech Republic.

Trožić-Borovac, S. (2011). Freshwater crayfish in Bosnia and Herzegovina: First report on their distribution. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 401*, 26.

Trožić-Borovac, S., Roljić, R., Dekić, R., Manojlović, M., Nikolić, V., Lolić, S., Midžić-Kurtagić, S., & Šljuka, S. (2022). *Ecological conditions and phenotypic characteristics of Austropotamobius torrentium* (*Schrank, 1803*) *in the Subotica and Toplik Rivers.* Agro-knowledge Journal, 23(4), 237–247.



Ova publikacija je izrađena uz finansijsku pomoć Donatorske inicijative za mediteranske slatkovodne ekosisteme. Sadržaj ovog dokumenta je isključiva odgovornost Udruženja "Resursni Aarhus centar u Bosni i Hercegovini" i ni pod kojim okolnostima se ne može smatrati odrazom stava Fondacije princa Alberta II od Monaka ili Donatorske inicijative za mediteranske slatkovodne ekosisteme.