

# Rasprostranjenost viših rakova (Crustacea:Malacostraca) u slivu rijeke Gacke

---

**Mudrovčić, Slavica**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:142533>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-30**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za nastavničke studije u Gospiću  
Sveučilišni integrirani prijediplomski i diplomski učiteljski studij

**Slavica Mudrovčić**

**Rasprostranjenost viših rakova (Crustacea:  
Malacostraca) u slivu rijeke Gacke**

**Diplomski rad**

Gospić, 2023.

Sveučilište u Zadru

Odjel za nastavničke studije u Gospiću  
Sveučilišni integrirani prijediplomski i diplomski učiteljski studij

Rasprostranjenost viših rakova (Crustacea: Malacostraca) u slivu rijeke Gacke

Diplomski rad

Student/ica:

Slavica Mudrovčić

Mentor/ica:

izv.prof.dr.sc. Krešimir Žganec

Gospić, 2023.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Slavica Mudrovčić**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Rasprostranjenost viših rakova (Crustacea: Malacostraca) u slivu rijeke Gacke** rezultat mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mogega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mogega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Gospić, 27. rujna 2023.

## SAŽETAK

### **Rasprostranjenost viših rakova (Crustacea: Malacostraca) u slivu rijeke Gacke**

Istraživanje rasprostranjenosti viših rakova iz redova Amphipoda (rakušci) i Isopoda (jednakonožni rakovi) provedeno je duž toka rijeke Gacke i u njenim pritocima. Uzorci su prikupljeni u lipnju 2020. g. pomoću ručne bentos mreže na ukupno 14 postaja (Gacka-9, pritoci-5 postaja). U glavnim izvorima, Tonković i Majerovo vrilo, i u gornjim dijelovima toka Gacke dominirale su vrste *Synurella ambulans* i *Asellus aquaticus*. Rakušac *Gammarus balcanicus* je veće gustoće imao na srednjim i donjim dijelovima toka, te u pritocima, a uopće nije pronađen na izvoru Majerovo vrilo i još jednoj postaji nizvodno od ovog izvora. Ovakav obrazac rasprostranjenosti i gustoće tri istraživane vrste zabilježen je samo u rijeci Gackoj. U svim drugim krškim rijekama u Hrvatskoj je *G. balcanicus* dominantna vrsta s najvećim gustoćama u izvorima i gornjim dijelovima toka rijeka. Pretpostavlja se da je to posljedica nekadašnjeg presušivanja i potencijalnog onečišćenja izvora i gornjih dijelova toka rijeke Gacke.

Ključne riječi: Crustacea / rijeka Gacka / *Gammarus balcanicus* / *Synurella ambulans* / *Asellus aquaticus* / rasprostranjenost

## ABSTRACT

### **Distribution of macro-crustaceans (Crustacea: Malacostraca) in the Gacka River basin**

The study of the distribution of macro-crustaceans from the orders Amphipoda and Isopoda was conducted along the course of the Gacka River and its tributaries. Samples were collected in June 2020 using a benthic net at a total of 14 sites (Gacka-9, tributaries-5 sites). In the main springs, Tonković and Majerovo vrilo, and in the upper parts of the Gacka River, the amphipod *Synurella ambulans* and isopod *Asellus aquaticus* were dominant species. The amphipod *Gammarus balcanicus* had higher densities in the middle and lower parts of the river, as well as in the tributaries, and was not found at the source of Majerovo vrilo and another station downstream from this source. This distribution pattern and density of the three investigated species were unique to the Gacka River. In all other karst rivers in Croatia, *G. balcanicus* is the dominant species with the highest densities in the springs and upper parts of the river. It is assumed that this is a result of past drying up and potential pollution of the source and upper parts of the Gacka River.

Key words: Crustacea / Gacka river / *Gammarus balcanicus* / *Synurella ambulans* / *Asellus aquaticus* / distribution

# SADRŽAJ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1. Rasprostranjenost i ekologija rakušaca (Amphipoda) i jednakonožnih rakova (Isopoda) u slatkim vodama ..... | 2         |
| 1.2. Opće značajke istraživanih vrsta rakova (redovi Amphipoda i Isopoda).....                                  | 3         |
| 1.2.1. <i>Gammarus balcanicus</i> .....   | 4         |
| 1.2.2. <i>Synurella ambulans</i> .....  | 7         |
| 1.2.3. <i>Asellus aquaticus</i> .....   | 9         |
| 1.3. Ciljevi istraživanja.....  | 11        |
| <b>2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA .....</b>   | <b>12</b> |
| 2.1. Rijeka Gacka .....   | 12        |
| 2.1.1. Hidrogeološka obilježja .....  | 14        |
| 2.1.2. Ekološka obilježja.....  | 16        |
| 2.2. Opis istraživanih postaja .....  | 16        |
| <b>3. MATERIJALI I METODE .....</b>   | <b>26</b> |
| 3.1. Terensko istraživanje.....   | 26        |
| 3.2. Laboratorijska obrada uzoraka.....   | 32        |
| <b>4. REZULTATI.....</b>  | <b>33</b> |
| 4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode .....  | 33        |
| 4.1.1. Temperatura vode .....   | 33        |
| 4.1.2. Koncentracija i zasićenost otopljenog kisika.....  | 34        |
| 4.1.3. Električna provodljivost.....  | 36        |
| 4.1.4. pH.....  | 37        |
| 4.2. Gustoće populacija perakaridnih rakova .....   | 38        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3. Sastav zajednica perakaridnih rakova ..... | 42        |
| <b>5. RASPRAVA .....</b>                        | <b>45</b> |
| <b>6. ZAKLJUČAK .....</b>                       | <b>49</b> |
| <b>7. LITERATURA.....</b>                       | <b>51</b> |
| <b>8. PRILOZI .....</b>                         | <b>56</b> |



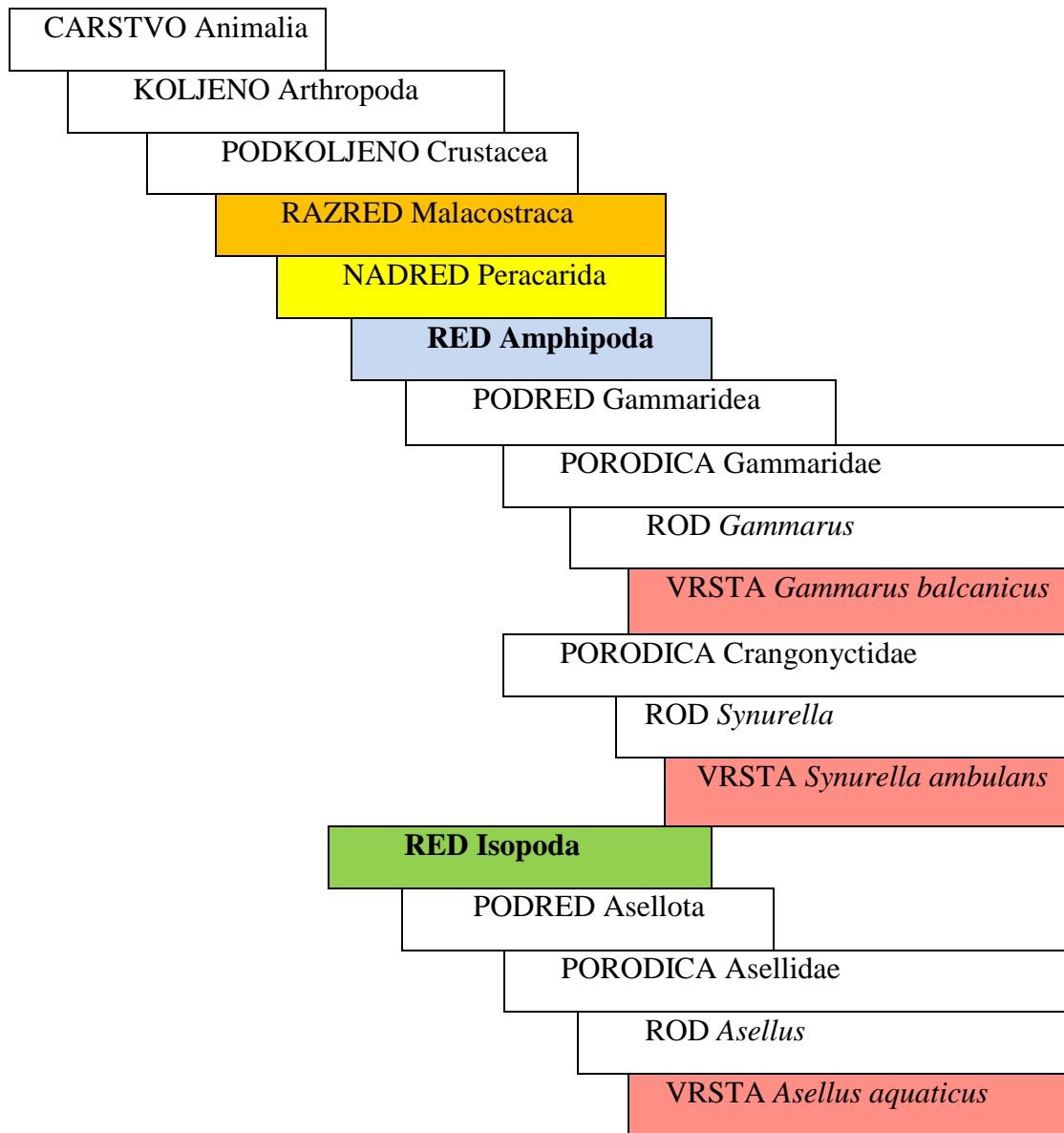
## 1. UVOD

Viši rakovi (Malacostraca) su važni organizmi koji znatno doprinose raznolikosti životnih zajednica te kruženju tvari i protoku energije u slatkovodnim ekosustavima. Rakušci (red Amphipoda) i jednakonožni rakovi (red Isopoda) pripadaju u nadred Peracarida, razred Malacostraca, a glavno zajedničko obilježje im je trbušni ležni prostor (marsupijum) kod ženki. U ležnom prostoru ženke nose jajašca i juvenilne jedinke, a čine ga trbušno smještene jajne pločice (oostegiti) koje se nalaze na bazi nogu za hodanje (pereiopoda). Kod nadreda Peracarida razvoj jajašca je izravan bez ličinačkog stadija, a juvenilne jedinke su morfološki vrlo slične odraslim jedinkama (Ruppert; Barnes, 1996: 733). U Europi su rakovi redova Amphipoda i Isopoda izuzetno dobro istraženi (Žganec, 2009), dok je u Hrvatskoj bolje istražena njihova rasprostranjenost i ekologija (Đurić, 2009; Žganec, 2009).

Rakušci iz porodice Gammaridae obitavaju na različitim staništima slatkih i bočatih voda Euroazije i Sjeverne Amerike, a zbog izuzetne brojnosti i biomase često imaju dominantnu ulogu u zajednicama dna kopnenih voda. Nadzemne vrste nastanjuju jezera, unutrašnje slane i bočate kopnene vode, no znatan broj vrsta nastanjuje tekućice (od malih izvora do ušća velikih rijeka) (Väinölä i sur., 2007; 245). Gustoće rakušaca roda *Gammarus* u izvorima i potocima mogu dosezati iznimno velike vrijednosti, veće od 10.000 jed.m<sup>-2</sup> (Žganec, 2009). Iako se većina vrsta hrani širokim spektrom različitih tipova hrane biljnog i životinjskog porijekla, pretežno se hrane detritusom i listincem pa imaju značajnu ulogu u razlaganju alohtone organske tvari (MacNeil; Dick; Elwood, 1997; 356). Mnoge vrste rakušaca su endemske vrste šireg ili užeg areala te uvelike pridonose raznolikosti i specifičnosti određenih vodotokova (Žganec i sur., 2011). Pored toga mnoge vrste rakušaca su invazivne te uz puževe i školjkaše predstavljaju skupinu sa značajnim brojem stranih i invazivnih vrsta u slatkim i bočatim vodama diljem svijeta (Žganec i sur., 2009).

## 1.1. Rasprostranjenost i ekologija rakušaca (Amphipoda) i jednakonožnih rakova (Isopoda) u slatkim vodama

Taksonomska klasifikacija nadzemnih rakova iz reda Amphipoda (*Gammarus balcanicus*, *Synurella ambulans*) i Isopoda (*Asellus aquaticus*), koji su istraživani u okviru ovog rada, prikazana je na Slici 1.



**Slika 1.1.** Taksonomska klasifikacija istraživanih vrsta (prema: Martin i Davis, 2001).

Viši rakovi (Malacostraca) su razred u koljenu člankonožaca (Arthropoda) i podkoljenu rakova (Crustacea). To je raznolika skupina s više od 40.000 opisanih vrsta podijeljenih na tri podrazreda: Phyllocarida, Hoplocarida i Eumalacostraca. Podrazred Eumalacostraca je podijeljen na tri nadreda: Eucarida, Peracarida i Syncarida. Nadred Peracarida podijeljen je na devet redova, a najznačajniji su Amphipoda (rakušci) s oko 9.100 vrsta, Isopoda (jednakonožni rakovi) s oko 10.000 opisanih vrsta i Mysida (rašljonošci) s oko 1.000 opisanih vrsta. Rakovi nadreda Peracarida odlično su se prilagodili na različite uvjete života u morskim staništima, slatkim i bočatim vodama, ali i na kopnu (Martin i Davis, 2001:35).

Većina vrsta rakušaca (Amphipoda) nastanjuje morska staništa, dok u slatkim vodama dolazi oko 1.870 vrsta ili 20% ukupne raznolikosti. Nadporodica Gammaroidea najzastupljenija je u kontinentalnim vodama, s oko 800 vrsta i podvrsta rasprostranjenih diljem Holarktika (Euroazija i sjeverna Amerika). Rod *Gammarus* značajno pridonosi raznolikosti slatkovodnih rakušaca s preko 100 vrsta rasprostranjenih na sjevernoj hemisferi (Väinölä i sur. 2008: 250). Predstavnici porodice Gammaridae imaju važnu ulogu u zajednicama beskralježnjaka dna različitih slatkovodnih i bočatih ekosustava, gdje mogu imati izrazito velike gustoće populacije (Gottstein i sur., 2013).

Jednakonožni rakovi (Isopoda) su raznoliki red perakaridnih rakova s ukupno 10.300 opisanih vrsta, koji nastanjuju sve tipove vodenih sustava, ali i kopno, dok je u kopnenim vodama zabilježeno oko 950 vrsta što je oko 9 % ukupne raznolikosti ovog reda (Wilson, 2008: 20). Jednakonožni rakovi nastanjuju različite tipove nadzemnih lotičkih (tekućih) i lentičkih (stajaćih) slatkovodnih staništa (u Europi je najčešća vrsta *Asellus aquaticus*), ali nastanjuju i podzemna staništa (Gottstein i sur., 2013).

## **1.2.Opće značajke istraživanih vrsta rakova (redovi Amphipoda i Isopoda)**

### **Amphipoda (rakušci)**

Većina vrsta rakušaca (Amphipoda) odlikuje se bočno spljoštenim tijelom (u obliku slova C) sa složenim sesilnim očima kod nadzemnih vrsta ili bez očiju kod podzemnih vrsta. Tijelo rakušaca može se podijeliti na glavu (cephalon), pereon (prsa) koji se sastoji od osam članaka (1.

je srastao s glavom i nije vidljiv) i pleona (zadka) kojeg čini šest članaka. Najčešće mogu narasti od 5 do 15 milimetara, ali velik broj vrsta u podzemlju Hrvatske naraste više od 15 mm. Na glavi se nalaze dva para dobro razvijenih ticala koja nisu razgranati. Na prvom članku prsa (pereona) nalaze se čeljusne noge koje predstavljaju ključni dio usnog aparata i sudjeluju u hranjenu rakušaca, dok preostalih sedam pari dobro razvijenih nogu (pereiopodi) služe za hodanje, skakanje, gmizanje i kopanje rupa. Prva dva para pereiopoda nose kliješta koja su po prirodi dobro razvijena i nazivaju se gnatopodi. Pomoću njih lako zgrabe svoj plijen, dok kod mužjaka gnatopodi služe za držanje ženke tijekom prekopulacije. Na bazi svih sedam pari pereiopoda nalaze se škrge. Prva tri članka pleona čine pleosomu s nogama za plivanje (pleopodi), a zadnja tri članka čine urosomu s uropodima. Na pleosomi se nalaze pleopodi koje rakušci koriste za stvaranje struje vode prema škragama, koje se nalaze na bazi pereiopoda. Na kraju zatka nalazi se privjesak koji se zove telzon. Kod nekih predstavnika je stopljen s posljednjim začanim nastavkom u pleotelzon (Ruppert i Barnes, 1996). Većina vrsta rakušaca su svejedi, a hrane se mrtvom organskom tvari (detritusom i gljivicama koje ga razgrađuju) kao i algama, životinjskim ostacima, a neke vrste su povremeni predatori drugih beskralježnjaka (MacNeil i sur., 1997).

### **1.2.1. *Gammarus balcanicus***

Vrstu *Gammarus balcanicus* (Slika 1.2) opisao je Schäferna 1922. godine s nekoliko lokaliteta na Balkanskom poluotoku (Crna Gora, Hercegovina i Bugarska), a G. S. Karaman (1996) odredio je izvore u Kolašinu (Crna Gora) kao tipski lokalitet (locus typicus) ove vrste. Pripada porodici Gammaridae koja obuhvaća 46 rodova (Karaman, 1977: 37-60). Porodica Gammaridae je holarktičke rasprostranjenosti s najviše zabilježenih vrsta na području Europe (Väinölä i sur., 2007). U Hrvatskoj je rasprostranjen u svim većim i stalnim tokovima Jadranskog sliva, sve od Mirne u Istri pa do delte Neretve i rijeke Ljute kod Dubrovnika, a zabilježen je i u tokovima Crnomorskog sliva (Korana, gornji tok Une, Dretulja, vodotoci NP Plitvička jezera) (Žganec, 2009: 177).

Sve vrste imaju tijelo savijeno u luk koje je obloženo hitinskim pokrovom, sastavljen od 14 segmenata. Boja tijela rakušaca roda *Gammarus* može biti smeđa do narančasta. Nastanjuje čiste potoke, rijeke i izvore s brzim strujanjem vode i dovoljnom količinom kisika (Karaman,

1977). Prema Jalinskaia (1969) rasprostranjenost vrste *G. balcanicus* ograničena je nekim ekološkim zahtjevima poput pH vrijednosti, a optimalna vrijednost iznosi od 7.5-8.5, međutim postoje iznimke. Vrsta je kod nas pronađena pri neutralnim i slabo lužnatim pH vrijednostima vode (Žganec, 2005). Rakušac *G. balcanicus* vrlo je morfološki varijabilna vrsta, koju čine morfološki različite populacije u svakom pojedinom slijevu, a u istom izvoru mogu se pronaći i različite populacije iste vrste (Karaman, 1977). Prema klasifikaciji životnog ciklusa (Sainte-Marie, 1991), *G. balcanicus* ima više generacija tijekom godine (multivoltna vrsta), odnosno to je vrsta koja se tijekom svog životnog perioda više puta razmnožava (iteroparna vrsta) (Zieliński, 1995.).

Rakušci porodice *Gammaridae* su razdvojenog spola, a mužjaci su veći od ženki. Fertilizacija je vanjska, a razvoj embrija odvija se u ležnom proSORU (marsupijumu). Kod rakušaca parne su gonade smještene između 2. i 7. segmenta pereiona, dorzolateralno ispod cjevastog srca u pereonu. Jajnici kod ženki smješteni su na bazi 5. para pereiopoda, dok su sjemenici kod mužjaka smješteni na 7. paru pereiopoda. S obzirom da je jajna stanica (oocita) veća od jajovoda potrebno je da se jajovod proširi kako bi jajašca mogla doći do marsupijuma. To se odvija u kratkom vremenskom periodu netom nakon presvlačenja ženke zbog savitljive membrane jajovoda čime je period ovulacije i vjerojatnost oplodnje ograničen na veoma kratko razdoblje (Žganec, 2009: 9). Pretpostavlja se da u urinu ženke postoje određeni kemijski spojevi koji se tijekom presvlačenja oslobađaju te ženku čine privlačnom mužjacima (Sutcliffe, 1992). Prekopulacijsko ponašanje karakteristično je za porodicu *Gammaridae*, a to se odvija zbog kratkog vremenskog perioda oplodnje jajašaca. U prekopulaciji mužjaci pomoću gnatopoda drže ženku i zajedno s njom plivaju. Taj period može trajati od nekoliko sati do nekoliko tjedana što ovisi o temperaturi vode. Neposredno nakon presvlačenja ženke, mužjak polaže spermiju po medijalnoj strani tijela i time završava prekopulatorni amplexus (Sutcliffe, 1992).

Životni vijek traje 1-2 godine, a razmnožavanje je kod većine vrsta u rasponu od 6-10 mjeseci godišnje, no moguće je i kontinuirano razmnožavanje te su ženke s jajašcima zabilježene tijekom svih mjeseci u godini (Žganec, 2009: 186).

Fekunditet balkanskog rakušaca (*G. balcanicus*) varira od 15-30 jajašaca, a inkubacija se odvija u marsupijumu i traje oko 2 mjeseca, ovisno o temperaturi vode. Broj jajašaca koja ženka nosi u ležnom prostoru ovisi o starosti ženke i povećava se s povećanjem dužine tijela ženke.

Dakle, što je ženka starija to je kapacitet njenog ležnog prostora veći i sadrži više jajašaca (Zieliński, 1995). Ta situacija ne odnosi se na ženke koje su na samom kraju svog životnog ciklusa (Sutcliffe i sur., 1981). Kod europskih slatkovodnih vrsta roda *Gammarus* potrebno je 20-35 dana za razvitak jajašaca od oplodnje do izlaska mladih iz ležnog prostora ženke (Sutcliffe, 1992).

Godišnji ciklus rasta, razvoja i razmnožavanja vrste *Gammarus balcanicus* kod nekih populacija je sljedeći (Matoničkin i sur., 1999):

- 1. godina (izlijeganje juvenilnih jedinki, njihov rast i razvoj, ali bez sazrijevanja)
- sljedeća godina (nakon što jedinke prezime postižu spolnu zrelost, ali s razmnožavanjem započinju tek sljedeće godine u travnju koje traje sve do listopada kada slijedi razdoblje reproduktivnog mirovanja).
- stare jedinke koje su preživjele zimu ugibaju krajem zime, odnosno početkom proljeća, pa nove jedinke, izlegnute prethodne godine, nastavljaju razmnožavanje vrste.

Zbog tvrdog egzoskeleta rakušci ne mogu rasti permanentno, već je njihov razvoj vezan uz presvlačenje. Ubrzo nakon skidanja starog egzoskeleta, stvara se novi veoma mekani oklop koji omogućuje daljni rast (Matoničkin i sur., 1999). Kod mladih jedinki razdoblja presvlačenja odvijaju se brže i učestalije s obzirom na veliki relativni porast veličine tijela. Nakon što dosegnu polovicu maksimalne dužine tijela jedinke postaju spolno zrele, a razdoblja presvlačenja postaju rjeđa s manjim porastom relativne veličine tijela (Sutcliffe i sur., 1981).

Prema dosadašnjim istraživanjima vrsta *G. balcanicus* nastanjuje veći dio toka rijeka Jadranskog sliva, a najveću brojnost odnosno gustoću postiže u izvorskim i gornjim dijelovima toka krških rijeka s ljeti hladnijim temperaturama vode i jačim strujanjem vode. Ovaj rakušac posebno je brojan u mahovini i u vodenom bilju (Žganec, 2009).



**Slika 1.2.** Odrasla jedinka rakušca vrste *Gammarus balcanicus* (Foto: KŽ).

### **1.2.2. *Synurella ambulans***

Vrstu *Synurella ambulans* prvi je opisao F. Müller 1864. godine na području Njemačke (Karaman, 1974). Pripada porodici Crangonyctidae s 19 vrsta od kojih se 12 može pronaći u Europi i maloj Aziji (Holsinger, 1974). Vrsta *S. ambulans* se može naći u nizinskim slatkovodnim staništima, kao i u planinskim rijekama, u malim ribnjacima, barama te malim potocima (Boets i sur., 2010: 241). Prema autorima Sidrov i Platon (2012) *S. ambulans* je stigofilna vrsta, što znači da je njen životni ciklus vezan uz površinske vode, a povremeno nastanjuje i podzemne vode.

Tijelo ove vrste (Slika 1.3) je lateralno spljošteno i podijeljeno u 13 segmenata. Tijelo ženki je glatko i dužine do 10 mm, a mužjaci su manji od ženki i imaju duža ticala. Oči su im nalik na grozd jer se sastoje od različitog broja omatidija (Karaman, 1974). Za ovu vrstu je

karakteristična pojava žute pjega na dorzalnom dijelu glave između očiju. Žuta pjega je hipertrofična probavna žlijezda (Sidorov i Palatov, 2012). *S. ambulans* je polifagna<sup>1</sup> vrsta, ali uglavnom se hrani detritusom i algama stoga igra važnu ulogu u procesu razgradnje organske tvari (Lantos, 1986: 82). *Synurella* se najčešće nalazi u malim vodotocima koji često presušuju i u kojima nema rakušaca roda *Gammarus* ili gdje su ovi rakušci zbog presušivanja ili malo vode i kisika ljeti malobrojni, također nastanjuje stajačice posebno lokve i bare. Nigdje u kršu, osim u Gackoj, ona nije pretjerano brojna (Žganec, 2009). Vrstu karakterizira univoltini životni ciklus što znači da ima jednu generaciju godišnje s reproduktivnim vrhuncem od svibnja do srpnja (Balala, 2016: 5).



**Slika 1.3.** Odrasla jedinka rakušca vrste *Synurella ambulans*

Izvor: URL 2.

### Isopoda (jednakonožni rakovi)

Jednakonožni rakovi su jedan od najvećih redova po broju vrsta unutar razreda viših rakova (Malacostraca). Naziv dolazi od grčkih riječi *iso* što znači “jednako” i *podus* što znači “noga”, zbog toga što su im noge za hodanje vrlo slične veličine i izgleda. Za razliku od

---

<sup>1</sup> Polifagna vrsta - koja se hrani svime; svejed



Amphipoda, jednakonožni rakovi se kreću isključivo puzanjem po dnu, a tijelo im je leđno-trbušno spljošteno i sastoji se od tri različita dijela: glave (cephalon), prsa (pereon) i zatka (pleon). Glava je spojena s prvim kolutićem prsa, a na njoj se nalaze sesilne složene oči, dva par ticala te četiri para usnih privjesaka. Na prsima imaju sedam pari nogu za hodanje (pereopoda) koje su sve slične građe. Na zatku se nalaze pet parnih pleopoda, jedan par uropoda i telzon (Ruppert i Barnes, 1996; Matoničkin i sur., 1999). Veličine tijela slatkovodnih europskih vrsta su u rasponu od 0,5 do 30 mm, a obojenost tijela varira od tamno sive do bijele boje kod podzemnih vrsta. Većinom su razdvojenog spola te ženka nosi jajašca u ležnom prostoru. Nakon izlijeganja mladunci su samostalne jedinke koje vrlo slične odraslim jedinkama (Brusca i Brusca 2003: 20).

### **1.2.3. *Asellus aquaticus***

Vodena babura, *Asellus aquaticus* (Slika 1.4) pripada podredu Asellota i najčešća je vrsta iz ovog roda u nadzemnim vodama Europe i Paleartika. Tijelo jednakonožnog raka je oko 12 mm dužine i spljošteno je u dorzo-ventralnom smjeru. Vrsta nastanjuje stajaće vode jer može podnijeti vrlo niske koncentracije kisika. Najčešće se nalazi u vodenom bilju, ali je često prisutna i na dnu vodotokova. Jednakonožni rakovi loše plivaju, te se kreću hodanjem (puzanjem) po dnu i po vodenom bilju. Povremeno se kreću s vrha na dno koristeći tehniku klizajućeg plivanja (Lantos, 1986:88).

Tijekom perioda parenja kod ženki na trbušnoj strani tijela formira se leglo (nakupina jajašaca), koje je zelenkaste boje. Jajašca se nalaze u ležnom prostoru (marsupijumu) kojeg s trbušne strane omeđuju jajne pločice (oostegiti). Isto kao i kod rakušaca, za vrijeme parenja mužjak svojim prsnim nogama drži ženku sve dok ne započne proces presvlačenja. Tijekom razvoja jajašaca u ležnom prostoru, njihov ukupni volumen ostaje isti, dok se veličina pojedinih jajašaca povećava s razvojem, a njihov broj se smanjuje. U jednom istraživanju kod ovigrene ženke izbrojano je 150 jajašca u 1. fazi razvoja, zatim 100 jedinki u 2. fazi, dok je broj juvenilnih jedinki spremnih za napuštanje ležnog prostora bilo samo 80 (URL 3).



**Slika 1.4.** Varijabilnost pigmentacije leđne strane jednakonožnog raka *Asellus aquaticus*

Izvor: URL 4.

Pigmentacija vrste *A. aquaticus* je varijabilna (Slika 1.4), od svijetle preko tamnosmeđe u površinskim vodama, do gotovo bezbojnih/bijelih jednici kod špiljskih populacija (URL 5.).

### 1.3. Ciljevi istraživanja

Glavni cilj ovog istraživanja bio je odrediti rasprostranjenost nadzemnih rakova iz redova Amphipoda i Isopoda te njihove gustoće duž toka rijeke Gacke i njenih pritoka.

Specifični ciljevi istraživanja bili su:

1. utvrditi gustoće pojedinih vrsta i sastav zajednica viših rakova (redovi Isopoda i Amphipoda) u glavnim izvorima (Tonković vrilo i Majerovo vrilo), gornjem, srednjem i donjem toku Gacke i u pritocima
2. utvrditi razlike u sastavu i gustoći vrsta rakova na pojedinim tipovima mikrostaništa
3. utvrditi promjene fizikalno-kemijskih čimbenika vode duž toka rijeke Gacke i u pritocima.

Osim toga, ovim istraživanjem nastojalo se doprinijeti boljem razumijevanju neobičnog obrasca rasprostranjenosti viših rakova u rijeci Gackoj, po čemu se ona znatno razlikuje od svih ostalih krških vodotokova u Hrvatskoj. Naime, iz prethodnih istraživanja (Žganec, 2009) poznato je da su vrste rakova *Asellus aquaticus* i *Synurella ambulans* na dijelu toka rijeke Gacke brojnije od rakušca *Gammarus balcanicus*, a takva situacija nije poznata nigdje drugdje u kršu Hrvatske. U svim ostalim istraživanim krškim vodotocima i izvorima u Hrvatskoj, rakušac *G. balcanicus* je izrazito dominantna vrsta (Žganec, 2009). Dakle, detaljnim istraživanjem gustoće, sastava i rasprostranjenosti pojedinih vrsta nadzemnih viših rakova redova Amphipoda i Isopoda duž toka rijeke Gacke i manjih pritoka želi se doprinijeti razumijevanju neobičnog obrasca rasprostranjenosti viših rakova redova Amphipoda i Isopoda u rijeci Gackoj.

## 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Rijeka Gacka

Za rijeku Gacku možemo reći da je najljepša i najzanimljivija ponornica u Hrvatskoj. Zahvaljujući svojim vrelima, ponorima i hidrološkim obilježjima, među kojima se znatno ističu čistoća, boja i biološke vrijednosti, Gacka je u cjelini jedan od najznačajnijih hidroloških fenomena našeg krša (Štefanac, 1999: 32). Obiljem svojih izvorskih voda, rijeka Gacka je jedan od najvažnijih površinskih vodotoka na području Like i cijelog dinarskog krša u Hrvatskoj. Rijeka Gacka je ponornica i pripada slivu Jadranskog mora. Prije izgradnje hidroelektrane Senj 1965. g., njena je dužina (s južnim i sjevernim krakom) bila oko 52 km, te je prema toj duljini Gacka bila treća najduža (iza Trebišnjice i Like) svjetska ponornica (Lukač-Rebarski, 2013: 43). Izgradnjom sustava kanala i tunela za HE Senj presušen je njezin južni krak prema mjestu Švica i dva švička jezera te sjeverni krak koji je protjecao kroz sam grad Otočac dalje na sjeverozapad. Ako se uzme sadašnje stanje kanala i tunela Gacke do krajnje točke u Gusić polju onda joj je dužina 55,4 km (Lukač-Rebarski, 2013: 43).

Gacka izvire na nekoliko većih izvora u krajnjem jugoistočnom dijelu Gackog polja ispod rubnih brdskih uzvisina Godače, Venca, Veljun vrha, Turčin vrha, Čardaka i Ogoreloga griča. Gacka ovdje izvire sasvim tiho iz krških ljevkastih dubokih izvora uzlaznoga karaktera (Štefanac, 1999: 57). Izvori rijeke Gacke su zaštićeni u kategoriji geološko-geografskih spomenika prirode (Zwicker i sur., 2008), a stanovnici Like ih nazivaju “vrila”.

Tri su glavna izvora:

- Majerovo vrilo u Sincu iz kojeg teče Sinačka pučina,
- Tonković vrilo u Sincu,
- Pećina u Ličkom Lešću iz kojeg teče Kostelka.

Pored ova tri velika i stalna izvora, pritoci rijeke Gacke izvire iz još preko 30-ak manjih stalnih ili povremenih izvora. Od stalnih izvora u njenome gornjem toku poznatiji su: Knjapavac, Begovac, Pucirep, Malinišće, Marusino vrilo, Jaz, Graba. Povremeni pritoci izvire u pravilu na sjeverozapadnom rubu Gackoga polja, a kakvi su potoci Krajnović, Markovac, Bukarinovac i

Sekizovac. Povremeni pritoci Gacke su izdašni vodom od kišovite jeseni pa sve do kasnoga proljeća, a za vrijeme ljeta i kasne jeseni presušuju (suvaje) (Štefanac, 1999: 30).

Prema hidrogeološkim značajkama sliv rijeke Gacke se dijeli na izvorišni tok koji obiluje vodom tijekom cijele godine i nizvodni tok u kojem prevladavaju estavele i područja manjih ponora. Izvorišni dio Gacke je tipičan krški, sastavljen od propusnih ili polupropusnih karbonatnih stijena (vapnenac, kombinacija vapnenca i dolomita te vapnenačkih breča) (Božičević, 1997: 16). Prostrano Gacko polje, kroz koje Gacka protječe, ponekad je i poplavljeno i to najčešće u jesenskim i proljetnim periodima, a ljeti se rijeka posve povlači u svoje korito. Međutim, izgradnjom sustava za usmjeravanja vodotoka prema srednjem kanalu HE Senj poplavni val se uvelike smanjio (Štefanac, 1999: 37).

Glavni izvori rijeke Gacke neznatno se razlikuju u nadmorskoj visini (Tonković vrilo - 457 m, Majerovo vrilo - 462 m), uzlaznog su tipa i imaju oblik manjih jezera što im daje određeno pejzažno i turističko značenje (Bognar i sur., 1995: 53). Pored malih slapova na samim izvorima, a čijem formiranju su pridonijeli ljudi, rijeka je mirnog i meandriranog toka zbog malog nagiba korita u Gackom polju. Slapovi su nastali zbog akumuliranja vode za pokretanje mlinica, čija je upotreba gotovo pala u zaborav. Ako se uzme sadašnja visinska razlika između izvora rijeke i kote u neposrednoj blizini grada Otočca, prije utoka u sustav kanala i tunela, onda je razlika u nadmorskoj visini svega sedam metara (Štefanac, 1999: 140). Gacka je relativno duboka rijeka, a njena dubina varira od nekoliko metara pa do 10-ak i više metara u srednjem i donjem toku. Njene obale su strme, a odatle dolazi i njen sam naziv od riječi *gat* što znači *jaz*, *strmina*. U izvorišnom dijelu dno je djelomično kamenito i obraslo podvodnim biljem, a na plićacima sa sporim strujanjem vode ima i šljunkovitih mjesta. Nizvodno, dno je sve više muljevito, s pokojom kamenom hridinom i bogato obraslo vodenim biljem (Lukač-Rebarski, 2013: 41).

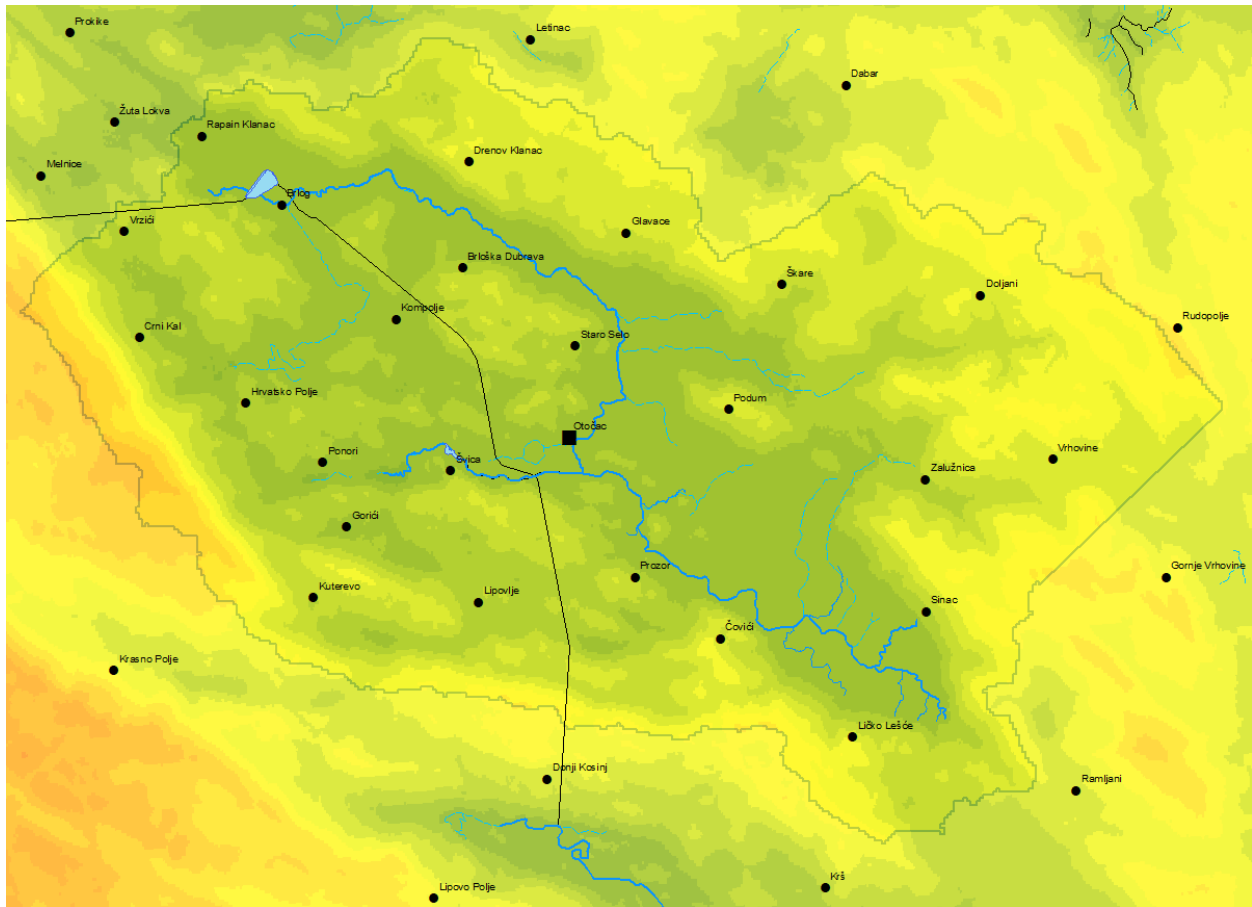
Iako je spora toka, voda rijeke Gacke je ujednačeno hladna i nikada ne zamrzava. Stabilne i ljeti relativno niske vrijednosti temperature vode čine da u cijelom toku Gacke postoje optimalni uvjeti za život i razvoj salmonidnih vrsta riba, kao što su pastrve i lipljan (Jadan i sur., 2007: 88). Po svom kemijskom sastavu voda rijeke Gacke je blago alkalna, a upravo takav alkalitet pogoduje razvoju salmonidnih vrsta riba. Voda je prilično tvrda, a što se tiče kisika, voda Gacke je izuzetne kvalitete s vrijednostima koncentracije kisika od 9,1 do 13,5 mgL<sup>-1</sup> i

zasićenjem kisikom oko 100 % što je optimalno za razvoj i opstanak salmonidnih riba (Bonacci i Andrić, 2009: 6).

Rijeka Gacka je izuzetno bogata florom i faunom. Specifična je po gusto razvijenim vodenim biljkama (makrofitima) koju domicilno stanovništvo naziva *resa*. Poznato je 25 različitih biljnih vrsta mahovina, algi i biljaka cvjetnica. Neke od značajnijih vrsta cvjetnica su: *Ranunculus fuitans* (podvodni žabnjak), *Berula erecta* (uspravni grešun), *Callitriche sp.* (žabovlatka), a uz rub rijeke prevladavaju *Sparganium erectum* (razgranjeni ježinac), *Acorus calamus* (iđirot), *Filipendula ulmaria* (prava končara), *Trifolium fragiferum* (jagodasta djetelina). Upravo povoljna temperatura i kemijski sastav vode, muljevito dno i spori tok razlog su tako bogatog i obilno razvijenog podvodnog biljnog svijeta. (Štefanac, 1999: 44). Ukupno je do sada u Gackoj zabilježeno 17 različitih životinjskih grupa i 96 vrsta. Važno mjesto u fauni Gacke zauzima skupina Crustacea koja dominira u rijeci s dvije vrste: *Asellus aquaticus* i *Synurella ambulans*. Upravo ove dvije vrste dominiraju u prehrani poznate Gackine pastreve (Mišerić, 2017: 21).

### **2.2.1. Hidrogeološka obilježja**

Na širem slivu rijeke Gacke prisutne su karbonatne stijene u rasponu starosti od donje jure do krede, s različitim omjerima vapnenaca i dolomita te tercijarne karbonatne breče. U donjojurskim naslagama prevladavaju vapnenci, čija je boja u rasponu od sive, tamnosive do sivksato smeđe. Srednjojurske naslage također su od vapnenaca s rijetkim pojavama dolomita, a boja vapnenaca je od svijetlosive do sivosmeđe. Gornjojurske naslage zastupljene su dolomitima. Tercijarne karbonatne breče i jelar breče raširene su na zapadu i jugozapadu sliva rijeke Gacke. To su masivne karbonatne breče sastavljene od različitih oštroidnih do poluzaobljenih fragmenata karbonatnih stijena u kalcitnom matriksu (Bahun, 1962: 165).



**Slika 2.1.** Sliv rijeke Gacke (zelena linija) s glavnim pritocima i prikazom reljefa, centroidima naselja i cjevovodima/kanalima (crne linije) koji povezuju rijeku Liku, Gacku, akumulaciju Gusić s hidroelektranom Senj

Sliv rijeke Gacke (Slika 2.1) nalazi se u dinarskom kršu, a prostire se na površini od 584 km<sup>2</sup>. Prema posljednjim hidrološkim mjerenjima dužina rijeke s umjetnim kanalima iznosi 55,4 km, a srednji protok vode na izvorima iznosi 13,3 m<sup>3</sup>/s (Narodne novine, 82/13). Izvorišni dio rijeke je u mjestu Sinac, gdje rijeka izvire iz nekoliko stalnih krških izvora, a prije izgradnje HE Senj ponirala je na vapnenačkom rubu Kompolja i u Gusić polju. Područje zone izviranja dijeli se na gornju i donju. Gornja zona se prostire od glavnih izvora u Sincu do mosta u Čovićima (područje Jelar naslaga koje održavaju relativno visok nivo podzemne vode), a donja sve do Luke kod Otočca gdje se nastavlja zona estavela (Bognar i sur., 1975: 73).

Kod Otočca rijeka se dijeli na dva dijela:

- **južni krak** koji ide do Švice odnosno Švičkog jezera gdje se nalazi jedno ponorno područje rijeke
- **sjevni krak** koji se odjeljuje prema Drenovom Klancu gdje je dio vode ponirao u Gusić polju, a dio u Vlaškom polju što je i bio krajnji ponor rijeke Gacke.

Danas je situacija drukčija zbog izgradnje elektroenergetskog sustava HE Senj, pri čemu se u sjeverni krak pušta samo biološki minimum, dok se voda u južni krak ispušta samo radi održavanja razine vode u Švičkom jezeru (Bognar i sur., 1975: 95).

### **2.1.2. Ekološka obilježja**

Gacko polje, od glavnih izvora Tonković vrila i Majerovog vrila do mjesta Novo Selo i Glavace, uvršteno je u Ekološku mrežu Natura 2000 kao područje očuvanja značajno za ptice i područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove. Osim toga, izvori Gacke (Majerovo i Tonković vrilo) su zaštićeni u kategoriji spomenik prirode "Vrela Gacke", dok su tokovi Gacke do mjesta Banići (nizvodno od utoka Kostelke), i lijeve pritoke Kostelke, zajedno sa okolnim dijelom Gackog polja, zaštićeni u kategoriji značajnog krajobraza "Gacko polje" (URL 7.).

U Planu upravljanja vodnim dobrima u Republici Hrvatskoj iz 2013. godine za procjenu rizika od kemijske kontaminacije i kvantitativnu procjenu rizika stanja, rijeka Gacka je kategorizirana kao ne rizična. Protok vode je relativno visok i konstantan, a temperatura vode ujednačena je duž cijelog toka što omogućuje razvoj raznolike vodene flore i faune. Slivno područje Gacke je definirano i kao područje rezervi pitke vode od strateškog je značaja za Republiku Hrvatsku (Narodne novine, 82/13).

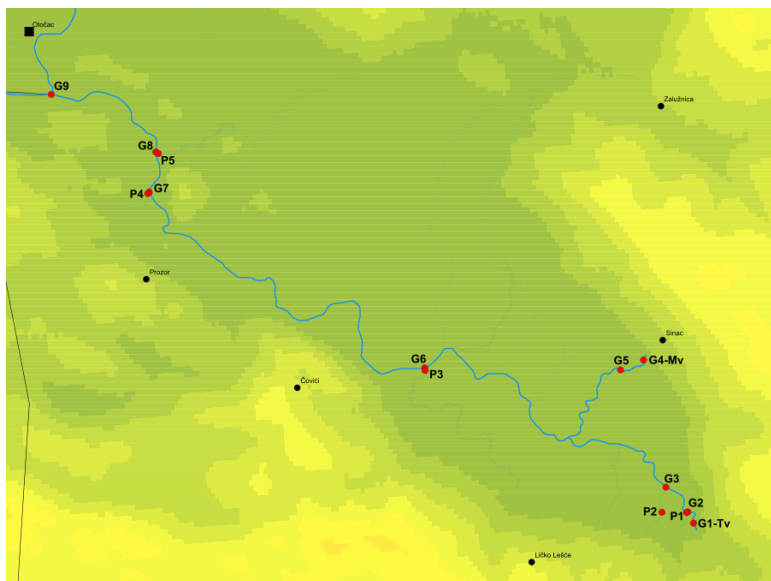
## **2.2. Opis istraživanih postaja**

Uzorkovanje makroskopskih beskralježnjaka dna (makrozoobentosa) provedeno je na 14 postaja tako da su obuhvaćeni svi dijelovi toka rijeke Gacke. Devet postaja bilo je na glavnom



toku Gacke, od glavnih izvora Tonković i Majerovog vrila do početka kanala Vivoze kod Otočca. Četiri postaje bile su na donjem toku, četiri pritoka (P1, P3-P5), dok je jedna postaja (P2) bila na srednjem toku drugog lijevog pritoka Knjapavac nizvodno od Tonković vrila.

a)



b)



**Slika 2.2.** a) Istraživane postaje (crvene točke) na glavnom toku rijeke Gacke (G1-G9) i na pritocima (P1-P5) s prikazom reljefa i centroidima naselja, b) prikaz istraživanih postaja, tokova Gacke i pritoka na satelitskoj snimci u Google Earth-u.

Postaja Tonković vrilo (G1-Tv) (Slika 2.3) jedan je od glavnih izvora rijeke Gacke. Uzorak je uzet na izvorskom toku odmah ispod izvora kod starih mlinica. Prisutna je velika raznolikost mikrostaništa. Dno čine valutice različitih veličina koje su obrasle mahovinom i vodenim biljem. Prikupljena su tri kvantitativna uzorka na površini od 0,0625 m<sup>2</sup> (25×25 cm) na tri različita mikrostaništa, kamenitom supstratu, mahovini i vodenom bilju.

a)



b)



**Slika 2.3.** a) Uzorkovanje na izvorskom toku odmah ispod izvora Tonković vrilo (G1-Tv), b) izvorski tok ispod Tonković vrila (Foto: a-KŽ i b-SM).

Postaja Gacka nizv Tonković vrila (G2) (slika 2.4.) nalazi se u Sincu 350 m nizvodno od Tonković vrila, kod utoka povremenog lijevog pritoka Pucirep. Tok rijeke ovdje je dubok do 2 m, a na dnu prevladavaju krupno kamenje, valutice i pijesak, dok je uz obalu prisutno i vodeno bilje koje mjestimično izvire na površinu vode. Obale rijeke održavaju se od zaraštanja košnjom i ispašom stoke.



**Slika 2.4.** Postaja G2 na Gackoj u Sincu 350 m nizvodno od Tonković vrila, odmah uzvodno od utoka prvog lijevog pritoka (Foto: SM).

Postaja Gacka-3 (G3) kod utoka potoka Knjapavac (slika 2.5.) udaljena je oko 1 km nizvodno od Tonković vrila. Ovdje je tok dubok 3-4 m, prekriven pijeskom i kamenjem, dok vodeno bilje prekriva više od polovice dna. Uzorak na kamenitom supstratu uzet je na ušću pritoka Knjapavac zbog dubine rijeke Gacke, a uzorak na vodenom bilju iz toka rijeke uzvodno od ušća.



**Slika 2.5.** Postaja Gacka-3 (G3) kod utoka potoka Knjapavac (Foto: SM).

Postaja Majerovo vrilo (G4-Mv) (slika 2.6.) također je bila na izvorskom toku nizvodno od ovog izvora. Nalazi se tri kilometara sjevernije od Tonković vrila podno brda Godača. U izvorskom toku prevladavali su kamenje, valutice i obluci raznih veličina prekriveni mahovinom te je na nekim predjelima bio prisutan i sitan sediment. Ovdje se nalaze mlinice koje su bile u funkciji.

a)



b)



**Slika 2.6.** a) Postaja G4-Mv na desnoj obali odmah kraj mlinica, b) Majerovo vrilo (Foto: a-KŽ, b-SM).

Postaja Gacka nizv Majerova vrila (G5) (slika 2.7.) nalazi se 550 metara nizvodno izvora Majerovo vrilo kod mosta u Sincu. Dno je kamenito i obilno prekriveno vodenim biljem i mahovinom. Kao i kod postaje Tonković vrilo korito rijeke nije duboko jer su se nekada ovdje nalazile mlinice, dubina varira u rasponu od 0,5 do 1 m.



**Slika 2.7.** Postaja Gacka-5 (G5), 550 m nizvodno od Majerovog vrila kod mosta u mjestu Sinac (Foto: SM).

Postaja Gacka-Kostelka ušće (G6) nalazi se u Ličkom lešću oko 6,9 km nizvodno od Tonković vrila i nizvodno mosta glavne ceste na ušću najveće stalne lijeve pritoke Kostelka (slika 2.8.). Na dnu su dominirale valutice te fini sediment (mulj i pijesak), a obilno je bilo razvijeno vodeno bilje. Na obalama rijeke razvijena je makrovegetacija koju čine vrbe i jablani.



**Slika 2.8.** Postaja Gacka-6 na ušću Kostelke (G6) u Ličkom Lešću (Foto: SM).

Postaja Gacka-7 (G7) nalazi se u Prozoru na udaljenosti oko 14 km nizvodno od Tonković vrila (slika 2.9.) kod utoka malog lijevog pritoka (bezimeni potok) između mjesta Rogići i Obilje. Korito rijeke široko je i duboko, a karakterizira ga sporo strujanje vode što doprinosi stvaranju lopoča. Dno je muljevito i obraslo vodenim biljem.



**Slika 2.9.** Postaja Gacka-7 (G7) oko 14 km nizvodno od Tonković vrila kod utoka malog lijevog pritoka između mjesta Rogići i Obilje (Foto: KŽ).

Postaja Gacka-8 (G8) nalazi se kod mjesta Prozor oko 14,9 km nizvodno od Tonković vrila na utoku malog desnog pritoka Jarak (Slika 2.10.). Na samom ušću pritoka dno je muljevito. Korito je obraslo vodenim biljem.



**Slika 2.10.** Postaja Gacka-8 (G8) kod mjesta Prozor oko 14,9 km nizvodno od Tonković vrila (Foto: SM).

Postaja Gacka-9 (G9) Vivoze kanal najnižvodnija je postaja na glavnom toku Gacke oko 17,5 km nizvodno od Tonković vrila (Slika 2.11.). Nalazi se u Otočcu kod mjesta Vivoze na račvanju toka rijeke Gacke i mjesta na kojem rijeka Gacka ulazi u sustav kanala i tunela za HE Senj. Dno je prekriveno kamenjem različite veličine, a veće kamenje prekriveno je mahovinom, dok je u sporijoj struji obilno razvijeno vodeno bilje.



**Slika 2.11.** Postaja Gacka-9 (G9) kod mjesta Vivoze oko 17,4 km nizvodno od Tonković vrila (Foto: SM).

Osim na devet postaja duž glavnog toka rijeke Gacke, prikupljanje uzoraka makrozoobentosa provedeno je i na pet postaja na pritocima. Najuzvodnija bila je postaja na malom lijevom pritoku Pucirep nizvodno od Tonković vrila (P1), a koja se nalazi 350 m nizvodno od Tonković vrila. Uzorci su prikupljeni na donjem toku lijevog pritoka prije samog ušća (Slika 2.12.). Na dnu je prisutno kamenje obilno prekriveno vodenim biljem i mahovinom.



**Slika 2.12.** Postaja P1 na donjem toku malog lijevog pritoka Pucirep čije ušće se nalazi 350 m nizvodno od Tonković vrila (Foto: SM).

Postaja Potok Knjapavac (P2) nalazi se na srednjem toku potoka Knjapavca čije je ušće oko 1 km nizvodno od Tonković vrila (Slika 2.13.). To je drugi stalni lijevi prtok rijeke Gacke u mjestu Sinac. Prisutna je velika raznolikost mikrostaništa, a tok je gotovo potpuno prekriven vodenim biljem (vodene mente, vodeni žabnjak, *Apium*).



**Slika 2.13.** Postaja na srednjem toku potoka Knjapavac (P2) (Foto: SM).

Postaja P3 potok Kostelka, nalazi se oko 10 metara uzvodno od ušća potoka Kostelka u Gacku (Slika 2.14.). Potok Kostelka najveći je stalni lijevi prtok Gacke. Obala je obrasla slojem grmlja kojeg čine vrbe. Dno karakteriziraju valutice raznih veličina koje su obrasle mahovinom, dok je obalni dio prekriven vodenim biljem, s umjerenim strujanjem vode.



**Slika 2.14.** Postaja P3 oko 10 m uzvodno od ušća Kostelke u Gacku (Foto: SM).



Postaja P4 nalazi se 10 metara od ušća bezimenog malog lijevog pritoka u Gacku kod postaje G7 (Slika 2.15.). Pritok se nalazi na travnjaku koji se ljeti obrađuje, a zimi poplavljuje te je na dnu prisutno samo vodeno bilje i mulj. Ovo je povremeni pritok.



**Slika 2.15.** Postaja P4 na donjem toku malog lijevog pritoka Gacke oko 10 m udaljena od postaje G7 (Foto: SM).

Postaja Potok Jarak (P5) nalazi se 20 metara uzvodno ušća desnog pritoka potok Jarak (slika 2.16.). Sediment čine valutice raznih veličina i bogato razvijena makrovegetacija. Ovaj potok ljeti povremeno presušuje pri čemu u dubljim dijelovima (bazenima) ostaje voda u kojima preživljavaju vodeni organizmi.



**Slika 2.16.** Postaja P5 na potoku Jarak, desnom pritoku Gacke, oko 20 m uzvodno od ušća potoka (Foto: SM).

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Terensko istraživanje

Uzorci makroskopskih beskralježnjaka dna u glavnom toku Gacke i u pritocima prikupljeni su na četiri različita mikrostaništa (M1-M4):

M1 - VB (vodeno bilje) - na rijeci prevladavaju *Apium repens*, *Rorippa*, Vodena metvica. Sve su to višegodišnje zeljaste biljke kojima pogoduje vlažno stanište

M2 - KAM (kamenje) - valutice različitih veličina; šljunak; sitni sediment

M3 - MAH (mahovina) - dominirala je vrsta *Fontinalis antipyretica*

M4 - MULJ



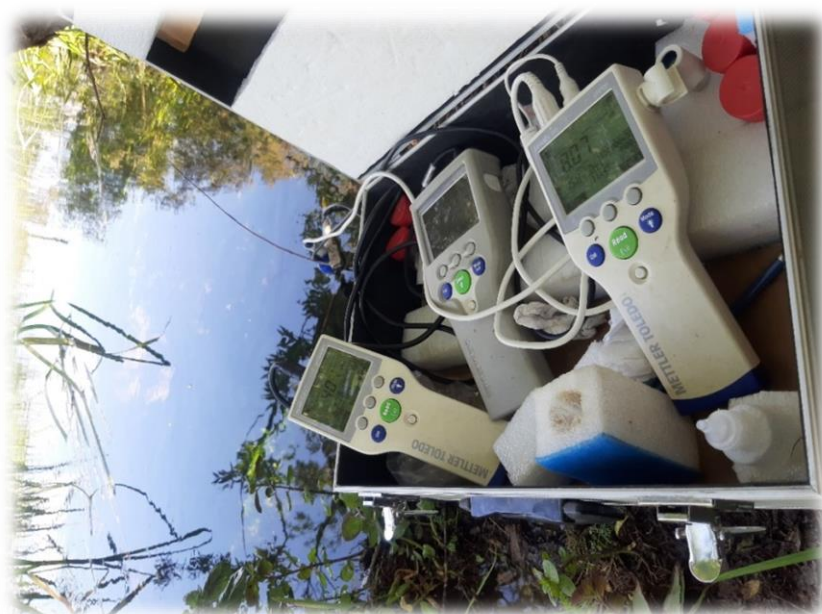
**Slika 3.1.** Prikaz uzorkovanja na četiri različita tipa mikrostaništa (M1-M4) pri terenskom istraživanju u lipnju 2020. g. (Foto: KŽ i SM).

Uzorci makroskopskih beskralježnjaka dna su prikupljeni tijekom dva dana u lipnju 2020. godine na ukupno 14 postaja (Tablica 1): devet postaja duž glavnog toka Gacke i pet na pritocima. Za uzorkovanje je korištena ručna bentos mrežica promjera oka mreže 500  $\mu\text{m}$ , na različitim mikrostaništima (kameniti supstrat, vodeno bilje, mahovina i mulj; Slika 3.1). Prikupljeni su samo kvantitativni uzorci na površini 0,0625 m<sup>2</sup> (25×25 cm), a ukupno je sakupljeno 27 uzorka. Prilikom prikupljanja uzoraka otvor mreže bio je postavljen suprotno od smjera toka vode te je na taj način supstrat otplavljen u mrežu. Nakon struganja dna mrežom, prikupljeni materijal najprije se ispirao kako bi se rakovi odvojili od supstrata i krupnijeg organskog materijala. Za odvajanje životinja od sedimenta korištena je tehnika dekantiranja i prosijavanja. Potom se pročišćeni materijal istresao u plastične kadice i konzervirao s 96%-tnim etanolom. Posljednji korak prikupljanja je pohranjivanje materijala u plastične bočice na kojima su prethodno napisani lokalitet, postaja, datum i tip supstrata te metoda uzorkovanja. Volumen 96%-tog etanola treba iznositi toliko da je prikupljeni materijal najviše do ½ volumena bočice potpuno potopljen, a ukoliko uzorak ne stane u jednu bočicu tada je potrebno rasporediti materijal u više bočica i navesti iste podatke o uzorkovanju.

Tijekom prikupljanja uzoraka na navedenim postajama mjereni su i fizikalno-kemijski čimbenici vode te su zabilježeni i podaci o GPS koordinatama pomoću mobitela i aplikacije Google maps.

Pomoću Mettler Toledo sonde mjereni su sljedeći fizikalno-kemijski čimbenici vode:

- temperatura vode,
- električna provodljivost vode,
- koncentracija i zasićenje vode otopljenim kisikom,
- pH.



**Slika 3.2.** Mjerenje mjerenja fizikalno-kemijskih čimbenika vode pomoću Mettler Toledo sonde (Foto: SM).

Svi parametri mjereni su na dubini od oko 10 cm ispod površine vode pri čemu se vodilo računa o protočnosti vode. Za očitavanje podataka potrebna je stabilizacija sonde u trajanju od minimalno 5 minuta, nakon čega se na ekranu može očitati vrijednost ispitivanog parametra.

**Tablica 1.** Značajke istraživanih postaja s obližnjim mjestima i lokalitetima, skraćenicama i geografskim koordinatama za svih 14 postaja (9 na glavnom toku i 5 na pritocima Gacke) te fizikalno-kemijski čimbenici vode izmjereni prilikom uzorkovanja.

|  |                            |                             |                               |                            |                              |                            |
|--|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>VRIJEME MJERENJA:</b>                         | 12:10                      | 17:30                       | 11:10                         | 13:00                      | 17:00                        | 16:20                      |
| <b>MJESTO</b>                                    | SINAC                      | SINAC                       | SINAC                         | SINAC                      | SINAC                        | ČOVIĆI                     |
| <b>LOKALITET</b>                                 | IZVOR TONKOVIĆ VRILLO      | GACKA - NIZV TONKOVIĆ VRILA | GACKA - POTOK KNJAPAVAC, UŠĆE | IZVOR MAJEROVO VRILLO      | GACKA - 1. MOST NIZV M.V.    | GACKA - KOSTELKA, UŠĆE     |
| <b>SKRAĆENICA</b>                                | <b>GACKA 1 (G1-Tv)</b>     | <b>GACKA 2 (G2)</b>         | <b>GACKA 3 (G3)</b>           | <b>GACKA 4 (G4 - Mv)</b>   | <b>GACKA 5 (G5)</b>          | <b>GACKA 6 (G6)</b>        |
| <b>POSTAJA</b>                                   | IZVORSKI TOK               | GACKA - NIZV TONKOVIĆ VRILA |                               | IZVORSKI TOK               | 1. MOST NIZV MAJEROVOG VRILA |                            |
| <b>GPS KOORDINATE</b>                            | N 44,78814°<br>E 15,36678° | N 44,79005°<br>E 15,36567°  | N 44,79441°<br>E 15,36085°    | N 44,81486°<br>E 15,35816° | N 44,81283°<br>E 15,35315°   | N 44,81522°<br>E 15,31022° |
| <b>NADMORSKA VISINA</b>                          | 455 m                      | 453 m                       | 454 m                         | 462 m                      | 457 m                        | 450 m                      |
| <b>UDALJENOST OD TONKOVIĆ VRILA</b>              | /                          | 0,350 km                    | 0,990 km                      | 5,83 km                    | 5,26 km                      | 6,90 km                    |
| <i><b>Fizikalno-kemijski parametri</b></i>       |                            |                             |                               |                            |                              |                            |
| Temperatura vode, °C                             | 10,8                       | 11,7                        | 11,8                          | 10,5                       | 11,3                         | 13,5                       |
| Koncentracija O <sub>2</sub> , mgL <sup>-1</sup> | 9,33                       | 9,89                        | 10,88                         | 9,52                       | 11,07                        | 13,27                      |
| Zasićenje O <sub>2</sub> , %                     | 89,0                       | 96,3                        | 106,2                         | 90,4                       | 107,3                        | 134,5                      |
| Električna provodljivost, μScm <sup>-1</sup>     | 463                        | 454                         | 456                           | 424                        | 425                          | 431                        |
| pH vrijednost                                    | 7,49                       | 7,46                        | 7,52                          | 7,42                       | 7,51                         | 7,85                       |
| <i><b>Metode uzorkovanja</b></i>                 | 3xKVANT                    | 2xKVANT                     | 2xKVANT                       | 2xKVANT                    | 1xKVANT                      | 2xKVANT                    |
| KRACER, 25x25cm <sup>2</sup>                     | 1xKAM<br>1xVB<br>1xMAH     | 1xKAM<br>1xVB               | 1xKAM<br>1xVB                 | 1xMAH<br>1xKAM             | 1xKAM                        | 1xKAM<br>1xVB              |

Tablica 2. nastavak

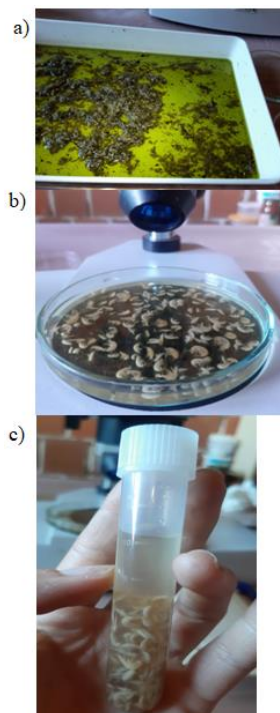
|  |                              |                            |                                |                                     |                            |                            |                            |                            |
|--|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>VRIJEME MJERENJA:</b>                     | 13:35                        | 12:05                      | 09:45                          | 17:45                               | 10:15                      | 15:25                      | 13:50                      | 12:40                      |
| <b>MJESTO</b>                                | PROZOR                       | PROZOR                     | OTOČAC                         | SINAC                               | SINAC                      | ČOVIĆI                     | PROZOR                     | PROZOR                     |
| <b>LOKALITET</b>                             | GACKA - BEZIMENI POTOK, UŠĆE | GACKA - JARAK, UŠĆE        | VIVOZE - KANAL, SLAP UZV MOSTA | NIZV TONKOVIĆ VRILA (lijevi pritok) | POTOK KNJAPAVAC            | POTOK KOSTELKA             | BEZIMENI POTOK             | POTOK JARAK                |
| <b>SKRAĆENICA</b>                            | <b>GACKA 7 (G7)</b>          | <b>GACKA 8 (G8)</b>        | <b>GACKA 9 (G9)</b>            | <b>PRITOK 1 (P1)</b>                | <b>PRITOK 2 (P2)</b>       | <b>PRITOK 3 (P3)</b>       | <b>PRITOK 4 (P4)</b>       | <b>PRITOK 5 (P5)</b>       |
| <b>POSTAJA</b>                               |                              | NIZV 10m                   | KANAL, SLAP UZV MOSTA          | BEZIMENI POTOK 2, UŠĆE              | NIZVODNO MOSTA CESTE       | POTOK KOSTELKA, UŠĆE       |                            | 20m UZV                    |
| <b>GPS KOORDINATE</b>                        | N 44,84554°<br>E 15,25297°   | N 44,85241°<br>E 15,25551° | N 44,86183°<br>E 15,23318°     | N 44,79008°<br>E 15,36511°          | N 44,79091°<br>E 15,35971° | N 44,81497°<br>E 15,31047° | N 44,84529°<br>E 15,25313° | N 44,85223°<br>E 15,25591° |
| <b>NADMORSKA VISINA</b>                      | 447 m                        | 450 m                      | 450 m                          | 453 m                               | 455 m                      | 450 m                      | 450 m                      | 449 m                      |
| <b>UDALJENOST OD TONKOVIĆ VRILA</b>          | 14,2 km                      | 15 km                      | 17,5 km                        | 0,351 km                            | 0,995 km                   | 6,92 km                    | 14,4 km                    | 15,20 km                   |
| <i>Fizikalno-kemijski parametri</i>          |                              |                            |                                |                                     |                            |                            |                            |                            |
| Temperatura vode, °C                         | 14,3                         | 12,8                       | 11,7                           | 15,3                                | 10,6                       | 16,0                       | 14,7                       | 13,6                       |
| Konc. O <sub>2</sub> , mgL <sup>-1</sup>     | 12,4                         | 13,9                       | 10,62                          | 8,26                                | 9,24                       | 11,54                      | 11,95                      | 3,45                       |
| Zasić. O <sub>2</sub> , %                    | 130,6                        | 131,1                      | 103,1                          | 87,1                                | 87,7                       | 123,2                      | 129,5                      | 35,0                       |
| Električna provodljivost, μScm <sup>-1</sup> | 431                          | 433                        | 442                            | 466                                 | 466                        | 401                        | 432                        | 466                        |
| pH vrijednost                                | 7,77                         | 7,83                       | 7,68                           | 7,73                                | 7,31                       | 8,80                       | 7,70                       | 7,35                       |
| <i>Metode uzorkovanja</i>                    | 2xKVANT                      | 2xKVANT                    | 3xKVANT                        | 1xKVANT                             | 2xKVANT                    | 2xKVANT                    | 1xKVANT                    | 2xKVANT                    |
| KRACER, 25x25cm <sup>2</sup>                 | 1xMULJ<br>1xVB               | 1xMULJ<br>1xVB             | 1xMAH<br>1xVB<br>1xKAM         | 1xVB                                | 1xKAM<br>1xVB              | 1xKAM<br>1xVB              | 1xVB                       | 1xKAM<br>1xVB              |



**Slika 3.3.** Prikaz postupka prikupljanja uzoraka: A - ručna bentos mreža (25x25cm, promjera oka mreže 500 µm); B - uzorkovanje u glavnom toku Gacke; C - postupak dekantiranja uzorka, odvajanje životinja i ostalog organskog materijala od supstrata; D - konzerviranje uzorka u bočice, E - plastične kadice s uzorkom u 96%-tnom etilnom alkoholu, F - bočice za pohranjivanje pročišćenih i konzerviranih uzoraka (Foto: KŽ i SM).

### 3.2. Laboratorijska obrada uzoraka

Laboratorijska obrada provedena je u dvije faze, a tijekom izdvajanja rakova iz uzoraka vođen je dnevnik rada za svaki uzorak. Prva faza obrade uzorka sastoji se od vađenja iz konzerviranog materijala, a zatim slijedi razvrstavanje po vrstama korištenjem stereomikroskopa (lupe) (Slika 3.4.). Ovisno o broju rakova, iz uzorka su najprije odvojeni lako raspoznatljivi jednakonožni rakovi (red Isopoda), tj. vrsta *Asellus aquaticus* (vodena babura), a zatim su pod lupom pregledani rakušci (red Amphipoda) kako bi se razdvojile vrste *Gammarus balcanicus* i *Synurella ambulans*. Rakovi su najprije iz uzoraka odvojeni pomoću pincete golim okom, zatim su uzorci dodatno pregledani pod lupom s povećanjem 7-45x (Slika 3.4 b). Od ukupnog broja uzoraka njih šest nije pregledano u cijelosti zbog velike brojnosti jedinki. Kod tih uzoraka primjenjivalo se poduzorkovanje na način da se plastični predložak podijelio na osam dijelova, nakon čega su se jedinke izolirale samo iz jednog dijela. Posljednja faza odnosi se na premještanje jedinki u plastične posudice odnosno epruvete sa 75% - tnm etanolom (Slika 3.4 c). Svaka epruveta sadržala je karticu paus papira na koji su olovkom ispisan podaci o uzorku: naziv lokaliteta, datum uzorkovanja, tip supstrata te naziv vrste.



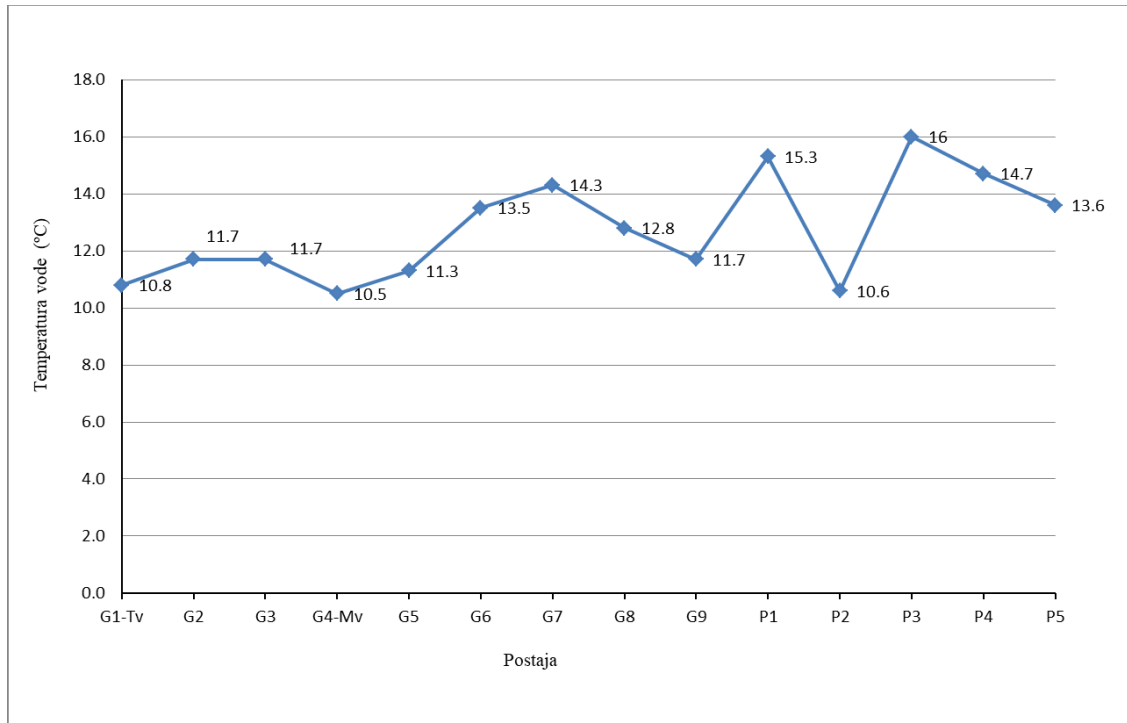
**Slika 3.4.** Postupak odvajanja rakova iz uzoraka u laboratoriju (Foto: SM)



## 4. REZULTATI

### 4.1. Fizikalno-kemijski čimbenici vode

#### 4.1.1. Temperatura vode

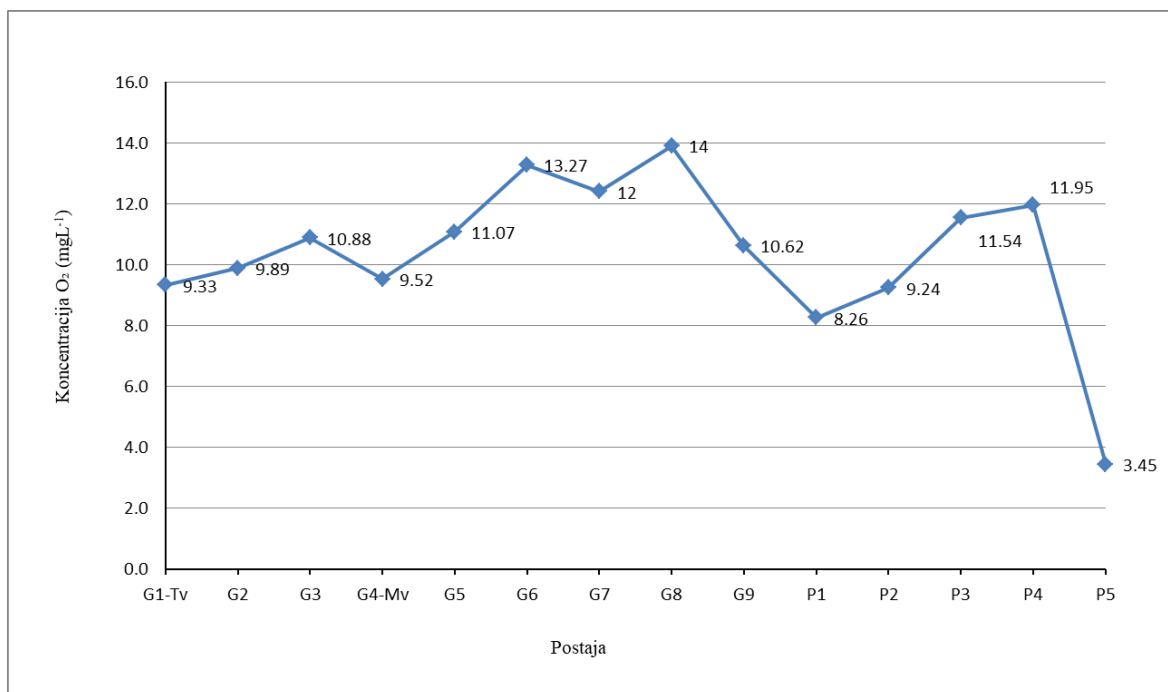


**Slika 4.1.** Temperatura vode na istraživanim postajama izmjerena 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima, glavni izvori G1-Tv: Tonković vrilo, G4-Mv: Majerovo vrilo).

Temperatura vode na izvoru Tonković vrilo (G1-Tv) iznosila je 10,8°C i ne razlikuje se znatno od drugog glavnog izvora Majerovo vrilo (G4-Mv) na kojem je iznosila 10,5°C. Nizvodno od Tonković i Majerovog vrila, na postajama G2, G3 i G5, temperatura je neznatno viša (između 11 i 12 °C). Postaje na glavnom toku Gacke nizvodnije od glavnih izvora (G6-G9) zagriju se tijekom dana na nešto više temperature, a razlike u temperaturi između tih postaja posljedica su različitog vremena mjerenja temperature (npr. na G7-13:35h, a na G9-9:45h,

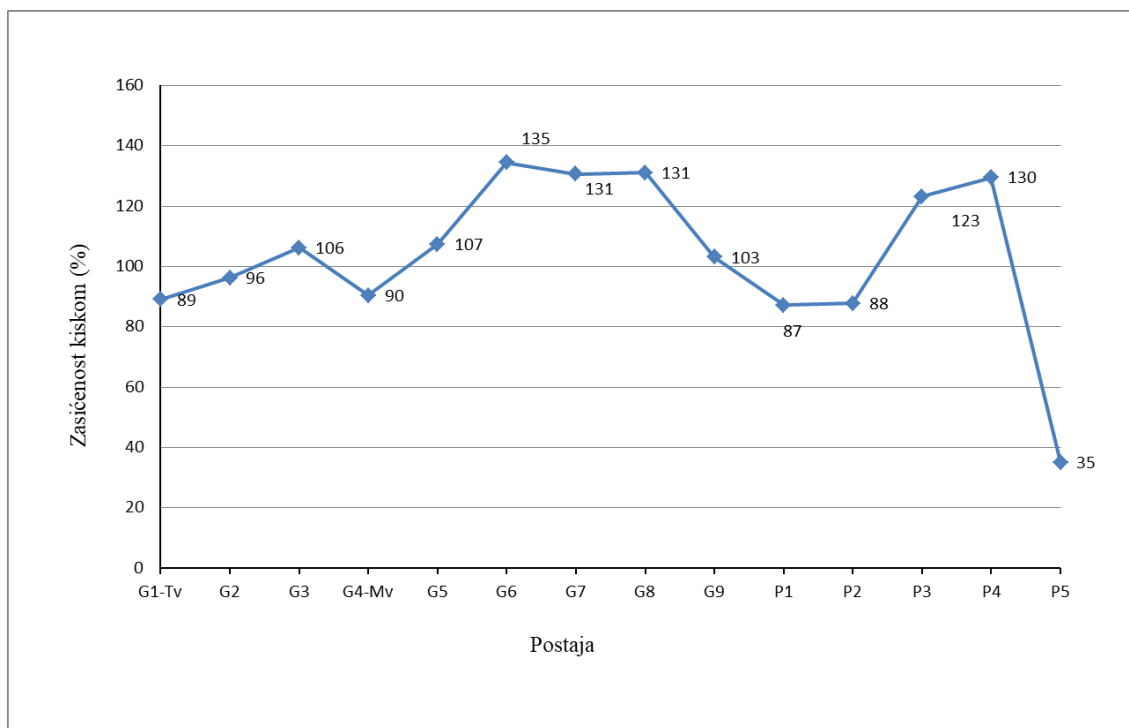
Tablica 3). Od pritoka, najviša temperatura izmjerena je u donjem toku Kostelke (P3: 16,0°C), a najniža na srednjem toku potoka Knjapavac (P2: 10,6°C).

#### 4.1.2. *Koncentracija i zasićenost otopljenog kisika*



**Slika 4.2.** Koncentracija otopljenog kisika na istraživanim postajama izmjerena 2. i 3. 6. 2020. godine (G- postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).

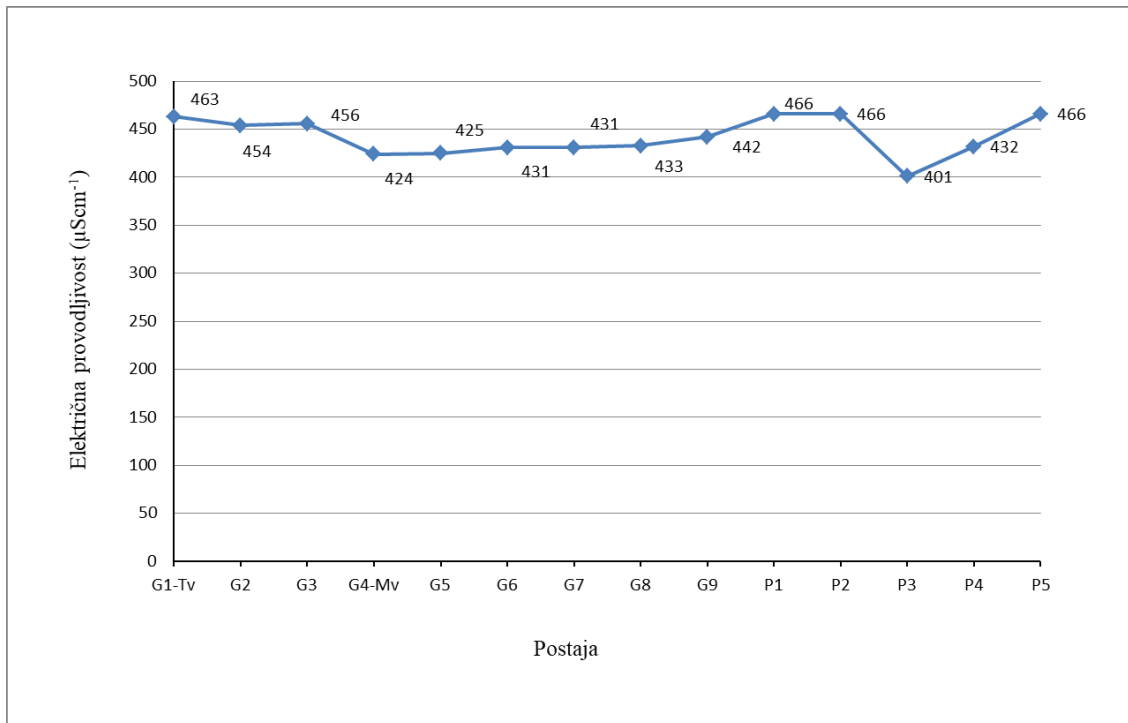
Koncentracije kisika na većini postaja glavnog toka Gacke bile su od 9-14 mgL<sup>-1</sup>, a u pritocima je zabilježen znatno veći raspon od 3,45 do 11,95 mgL<sup>-1</sup>. Najniža izmjerena vrijednost je na postaji donjeg toka potok Jarak (P5). Tok na ovoj postaji presušuje tijekom ljeta, a voda preostane u dubljim dijelovima (bazenima), gdje uslijed razgradnje organske tvari nastaju niske koncentracije kisika. Aritmetička sredina koncentracije kisika u glavnom toku iznosila je 11,21 mgL<sup>-1</sup>, a u pritocima 8,89 mgL<sup>-1</sup>.



**Slika 4.3.** Zasićenje vode kisikom na istraživanim postajama izmjereno 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).

Zasićenost vode kisikom u glavnom toku bila je od 90-130 %, a u pritocima od 35-130%. Na postajama G1, P1 i P2 zasićenost kisika bila je malo manja od 90%. U izvorskom toku Tonković vrila i Majerovog vrila zasićenost je bila oko 90%, tj. niže nego na postajama nizvodno (G2, G3 i G5). Slično kao i za koncentraciju kisika, najniže vrijednosti zasićenosti kisika zabilježene su na postaji P5. Osim na glavnim izvorima Gacke i na postaji P5, razlike u zasićenosti kisika zabilježene na ostalim postajama posljedica su dnevnih promjena koncentracije i zasićenosti kisikom zbog promjene temperature i utjecaja vodenih biljaka na povećanje kisika (tj. različitog vremena mjerenja, Tablica 3).

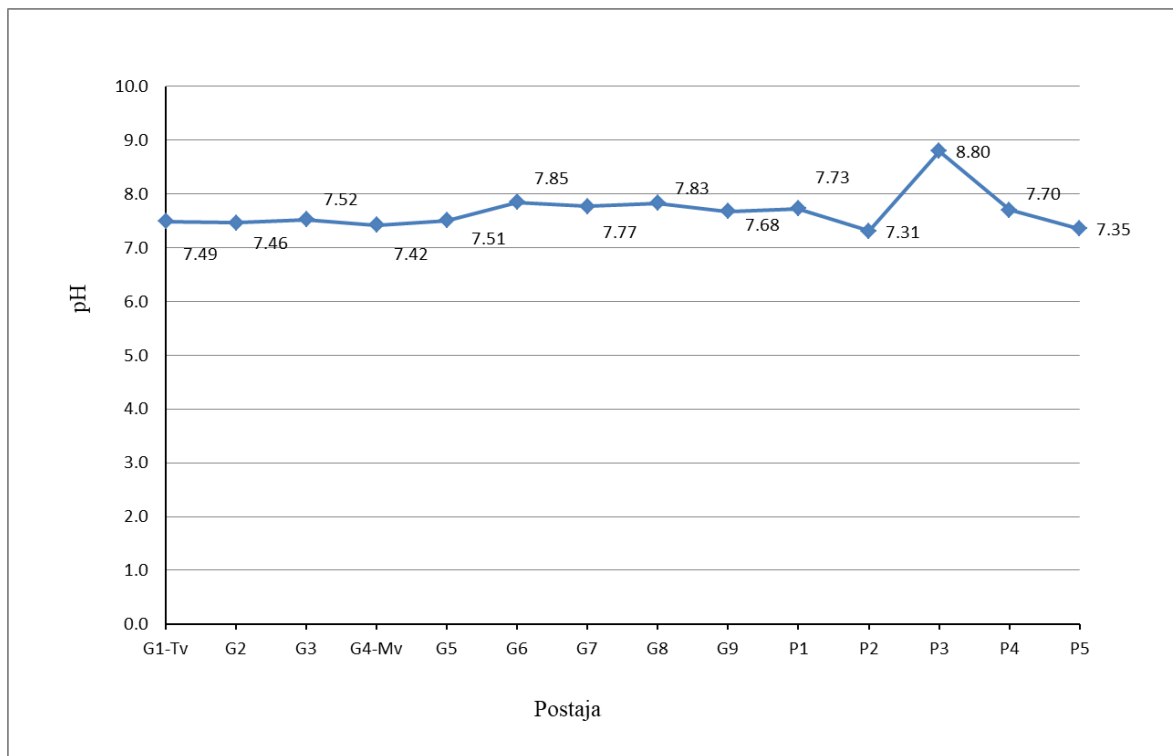
### 4.1.3. Električna provodljivost



**Slika 4.4.** Električna provodljivost vode na istraživanim postajama izmjerena 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).

Električna provodljivost vode u glavnom toku bila je u rasponu od 424-463  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Zanimljivo, više vrijednosti zabilježene su na izvoru Tonković vrilo i na dvije postaje nizvodno (G2 i G3), nego na ostalim postajama na glavnom toku Gacke i na izvoru Majerovo vrilo. U pritocima je zabilježen veći raspon električne provodljivosti koji je iznosio od 401-466  $\mu\text{Scm}^{-1}$ . Na postajama P1, P2 i P5 zabilježena je električna provodljivost od 466  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , slično kao i na postaji G1-Tv, dok je najniža vrijednost zabilježena na postaji P3 (donji tok Kostelke).

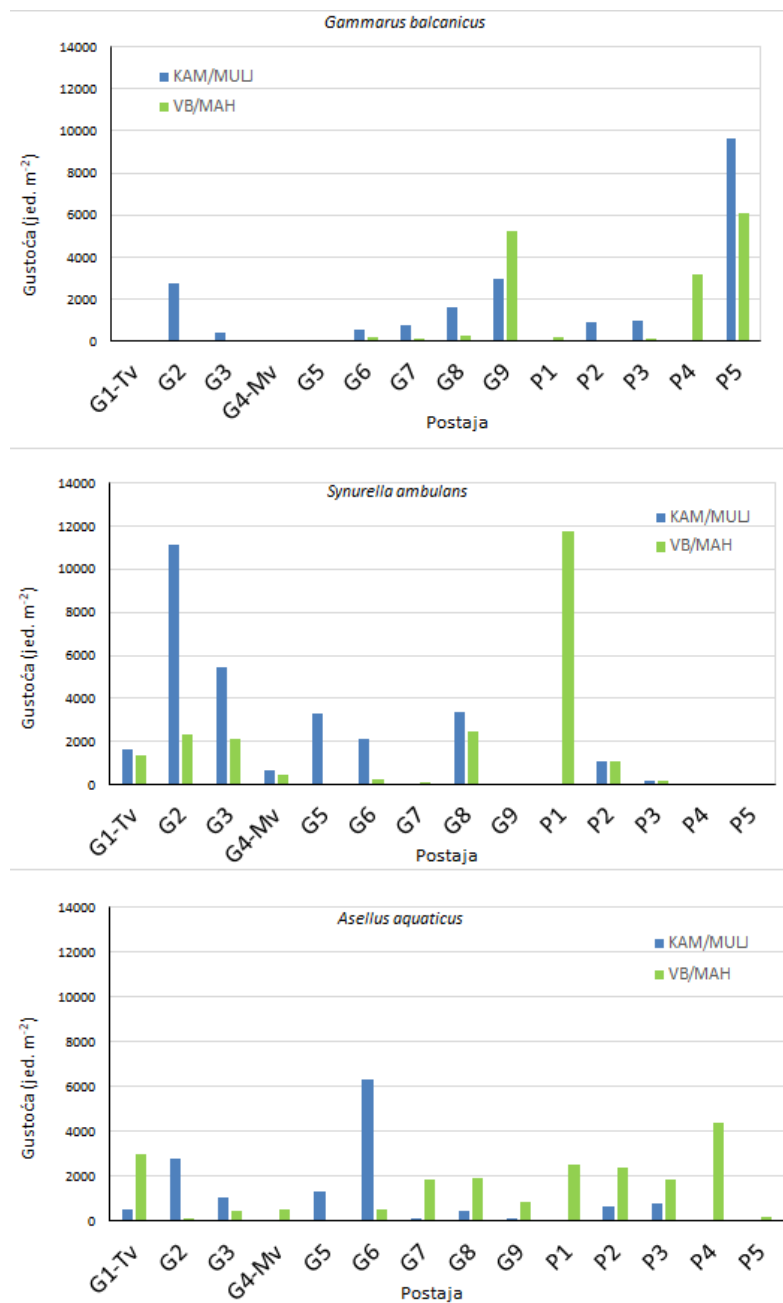
#### 4.1.4. pH



**Slika 4.5.** pH vrijednost vode izmjerena na svim istraživanim postajama 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).

Od svih fizikalno-kemijskih čimbenika, pH vrijednost vode najmanje varira između postaja, a iznosila je od 7,31 do 7,85, osim na postaji P3 na donjem toku Kostelke gdje je izmjerena najviša vrijednost pH od 8,80. Nešto niže vrijednosti pH zabilježene su na glavnim izvorima (G1-Tv i G4-Mv) i dijelovima toka Gacke blizu tih izvora (G2, G3 i G5), te malo više vrijednosti na nizvodnijim postajama Gacke (G6-G9).

## 4.2. Gustoće populacija perakaridnih rakova



**Slika 4.6.** Gustoće populacija tri vrste rakova: a) *Gammarus balcanicus*, b) *Synurella ambulans*, c) *Asellus aquaticus* na svim istraživanim postajama na dva tipa supstrata, KAM/MULJ - kamenitom supstratu (većina postaja) ili mulju (postaje G7 i G8), VB/MAH – vodenom bilju i/ili mahovini.

Tijekom ovog istraživanja gustoće perakaridnih rakova određene su na ukupno četrnaest istraživanih postaja: devet postaja bile su duž toka rijeke Gacke od toga dvije postaje na dva glavna izvora rijeke Gacke (postaje G1-Tv i G4-Mv), a pet postaja bile su na pritocima rijeke Gacke, uglavnom na donjem toku pritoka kod ušća, osim u slučaju potoka Knjapavac (P2) gdje je postaja bila na srednjem toku.

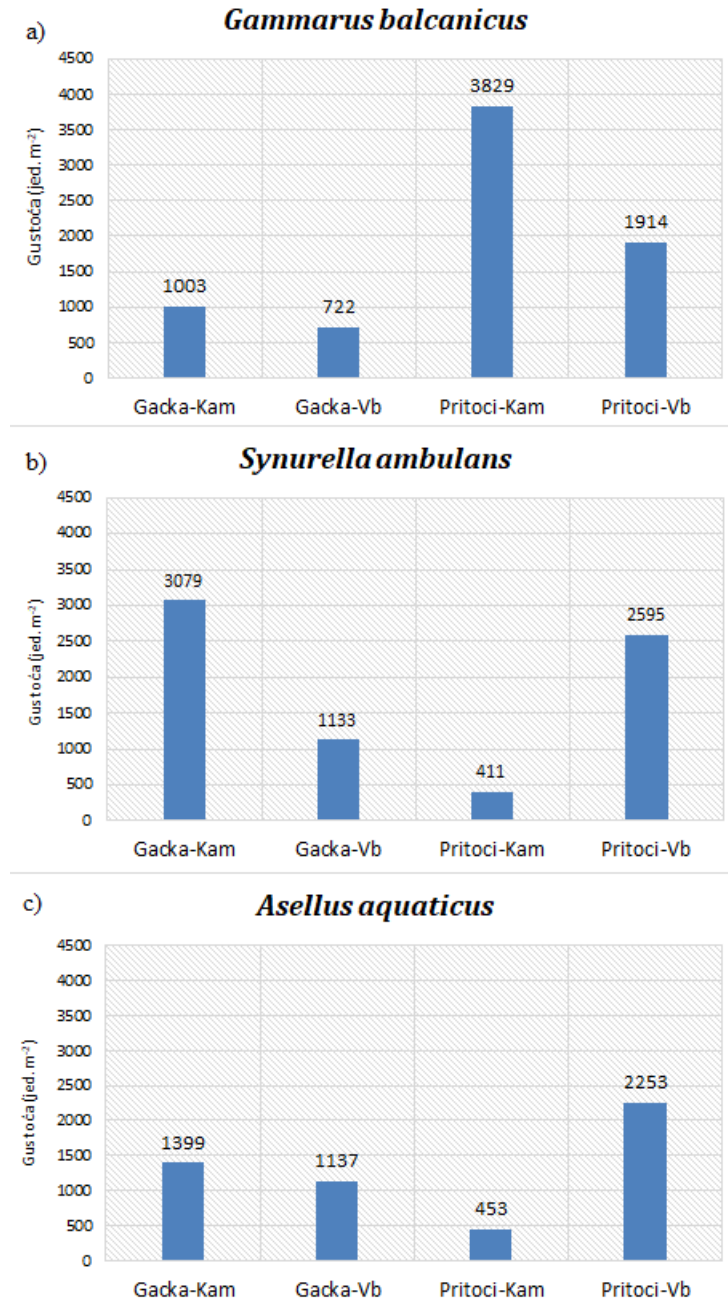
Rakušac *Gammarus balcanicus* zabilježen je na 12 (86 %) od ukupno 14 postaja (Slika 4.6 a). U glavnom toku rijeke Gacke *G. balcanicus* je zabilježen samo na jednom izvoru rijeke Gacke (Tonković vrilu, G1-Tv), dok na drugom glavnom izvoru Majerovo vrilo (G4-Mv) nije zabilježen, kao ni na prvoj postaji 550 m nizvodno od ovog izvora (G5). Uz izuzetak postaje G2 (i dvije postaje gdje nije pronađen), gustoće rakušca *G. balcanicus* na kamenitom supstratu su se povećavale od 48 jed.m<sup>-2</sup> u Tonković vrilu do 9.648 jed.m<sup>-2</sup> na postaji G9. Na postaji P2, 350 m nizvodno od Tonković vrila kod ušća prvog lijevog pritoka Pucirep, rakušac *G. balcanicus* je na kamenitom supstratu imao neobično veliku gustoću od 2.752 jed.m<sup>-2</sup>, dok je u vodenom bilju njegova gustoća na ovoj postaji bila tek 32 jed.m<sup>-2</sup>. U vodenom bilju i/ili mahovini gustoće ovog rakušca su se također povećavale u glavnom toku Gacke od 8 jed.m<sup>-2</sup> u Tonković vrilu do 5.208 jed.m<sup>-2</sup> na postaji G9 (na postajama G3 i G4 nije pronađen u vodenom bilju, a na postaji G5 uzorci nisu prikupljeni na ovom tipu supstrata). Na postajama blizu ušća manjih pritoka (P1, P2, P4 i P5) i na srednjem toku potoka Knjapavac (P3) ovaj rakušac imao je slično povećanje gustoća u nizvodnom smjeru na oba tipa supstrata (kameniti supstrat nije uzorkovan na postajama P1 i P4). Na izvorskim dijelovima toka gustoće rakušca bile su 0-295 jed.m<sup>-2</sup>, a na nizvodnim postajama gustoća se povećala te je bila u rasponu od 96-2.199 jed.m<sup>-2</sup>. Aritmetička sredina gustoće ovog rakušca iznosila je 256 jed.m<sup>-2</sup>. Najveća zabilježena gustoća iznosila je 9.648 jed.m<sup>-2</sup> na kamenitom supstratu na postaji P5. Na ovoj postaji zabilježen je samo rakušac *G. balcanicus*.

Vrsta *Syunrella ambulans* zabilježena je na 11 (79%) od ukupno 14 postaja. Za razliku od vrste *G. balcanicus*, ova vrsta je zabilježena na oba izvora, međutim na izvoru Majerovo vrilo u znatno manjoj gustoći nego na Tonković vrilu (Slika 4.6 b). U glavnom toku Gacke *S. ambulans* nije zabilježena samo na jednoj postaji (G9), koja je najnižvodnija istraživana postaja, udaljena 17,5 km nizvodno od izvora Tonković vrilo. U pritocima ova vrsta nije zabilježena na dvije postaje (P4, P5), koje se nalaze na donjem dijelu toka rijeke. Najveće gustoće ova vrsta je imala na kamenitom supstratu od 11.168 jed.m<sup>-2</sup>, a u vodenom bilju ili mahovini 2.448 jed.m<sup>-2</sup>.

Vrsta *Asellus aquaticus* je najšire rasprostranjena vrsta jer je zabilježena na svim postajama. Jednakožni rak *A. aquaticus* ima ujednačenu gustoću na oba tipa supstrata duž cijelog toka rijeke Gacke (Slika 4.6 c). Najveća gustoća izmjerena je na postaji G6 na kamenitom supstratu od 6.288 jed.m<sup>-2</sup>, a najmanja gustoća izmjerena je na postaji G4 gdje je bilo svega 48 jed.m<sup>-2</sup>. Na postaji P4 na vodenom bilju izmjerena je najveća gustoća u pritocima od 4.400 jed.m<sup>-2</sup>, a najmanja gustoća iznosila je 160 jed.m<sup>-2</sup>.

Aritmetičke sredine gustoće triju vrsta perakaridnih rakova na dva tipa supstrata u Gackoj i pritocima prikazane su na slici 4.7. Rakušac *G. balcanicus* je veće gustoće imao u pritocima nego u glavnom toku na oba tipa supstrata, a najveću aritmetičku sredinu gustoće (3.829 jed.m<sup>-2</sup>) imao je na kamenitom supstratu u pritocima. Vrsta *S. ambulans* je u glavnom toku najveću gustoću imala na kamenitom supstratu (3.079 jed.m<sup>-2</sup>), dok je u pritocima najveću gustoću imala u vodenom bilju (2.595 jed.m<sup>-2</sup>) (Slika 4.7 b). Jednakožni rak *A. aquaticus* jedini je od tri vrste rakova ima neznatnu razliku gustoće u glavnom toku na dva tipa supstrata (KAM-1.399 jed.m<sup>-2</sup>, VB-1.137 jed.m<sup>-2</sup>), dok je najveću gustoću imao u pritocima na vodenom bilju (2.253 jed.m<sup>-2</sup>) (Slika 4.7 c). Ako međusobno usporedimo aritmetičke sredine gustoća pojedinih vrsta, vidljivo je da su *S. ambulans* i *A. aquaticus* imali veće gustoće od rakušca *G. balcanicus* u glavnom toku Gacke na oba tipa suptrata.

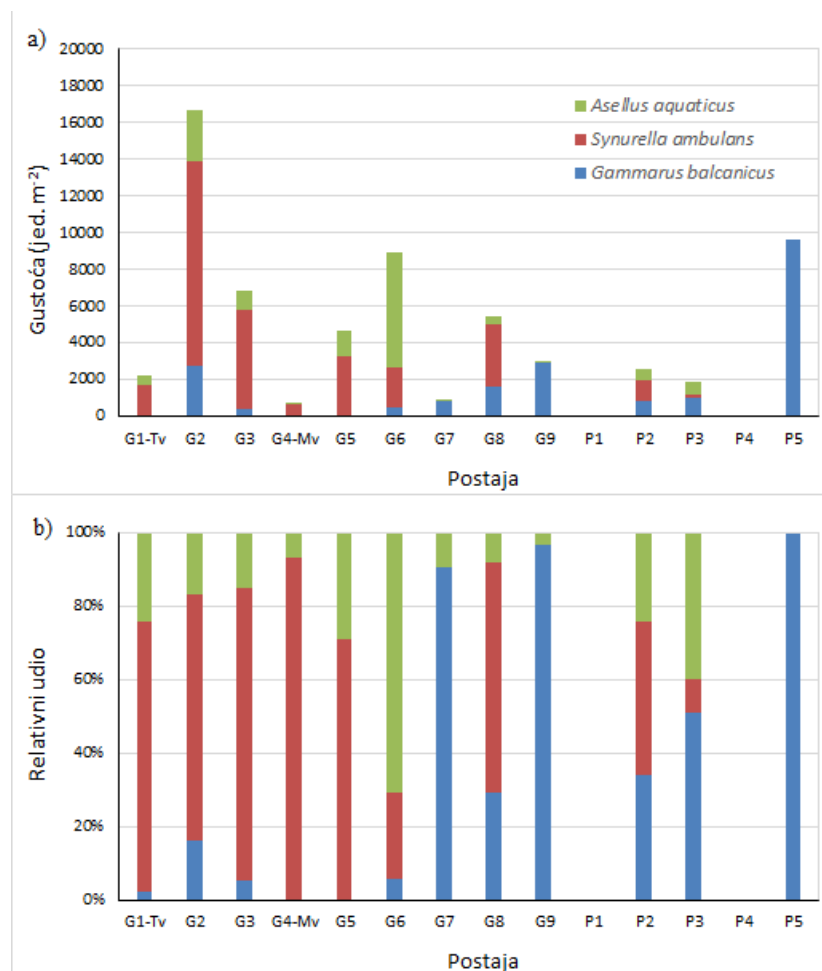




**Slika 4.7.** Aritmetičke sredine gustoća tri vrste rakova, a) *Gammarus balcanicus*, b) *Synurella ambulans*, c) *Asellus aquaticus* na dva tipa supstrata (KAM/MULJ, VB/MAH) na devet postaja u rijeci Gackoj i na pet postaja u pritocima.

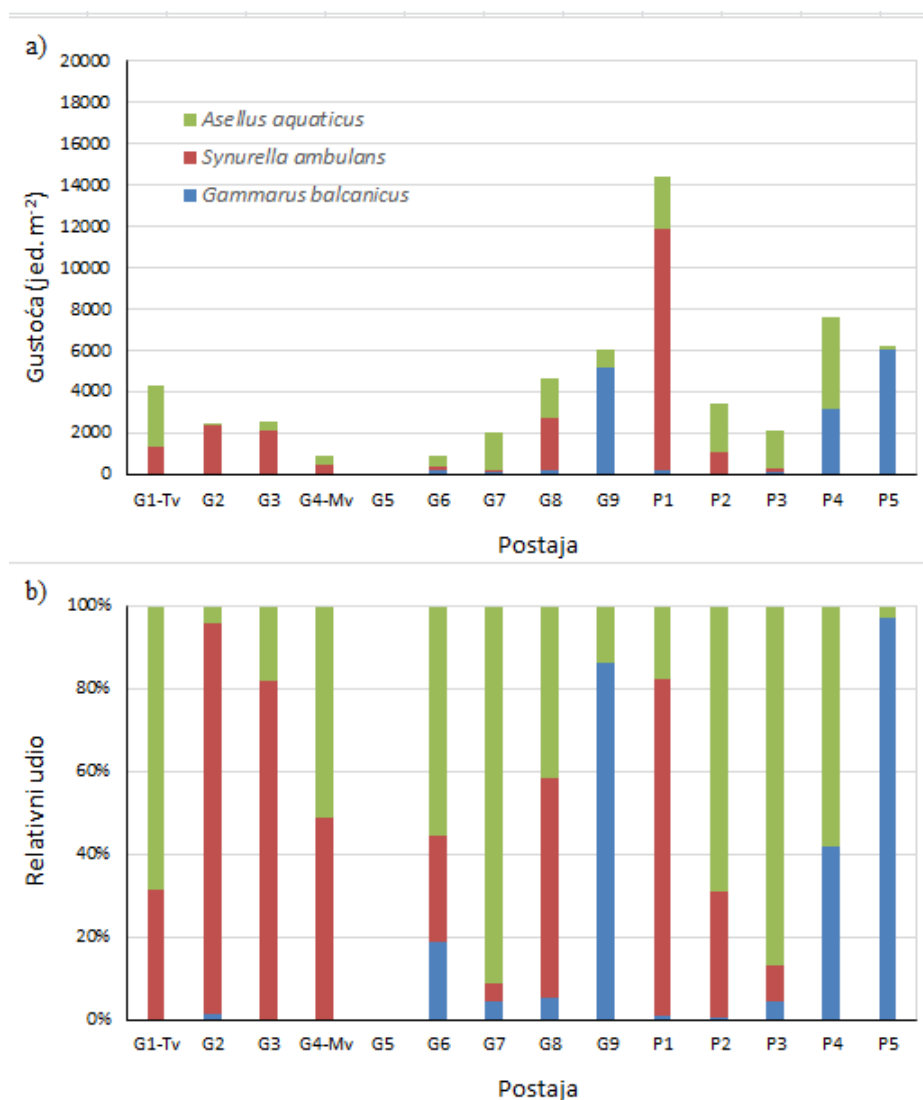
### 4.3. Sastav zajednica perakaridnih rakova

Najveće ukupne gustoće perakaridnih rakova na kamenitom supstratu zabilježene su na postajama G2, G6 i P5, dok su najmanje gustoće bile na postajama G4-Mv i G7 (Slika 4.7a) (na postajama P1 i P4 kameniti supstrat nije uzorkovan). Po relativnom udjelu u zajednici su dominirali ili rakušac *S. ambulans* na šest postaja (Slika 4.7b) ili rakušac *G. balcanicus* (na četiri postaje). Samo je na postaji G6 dominantan bio jednakonožni rak *A. aquaticus* na kamenitom supstratu, dok su ostale dvije vrste na postaji G6 bile kodominante, kao i na postaji P2.



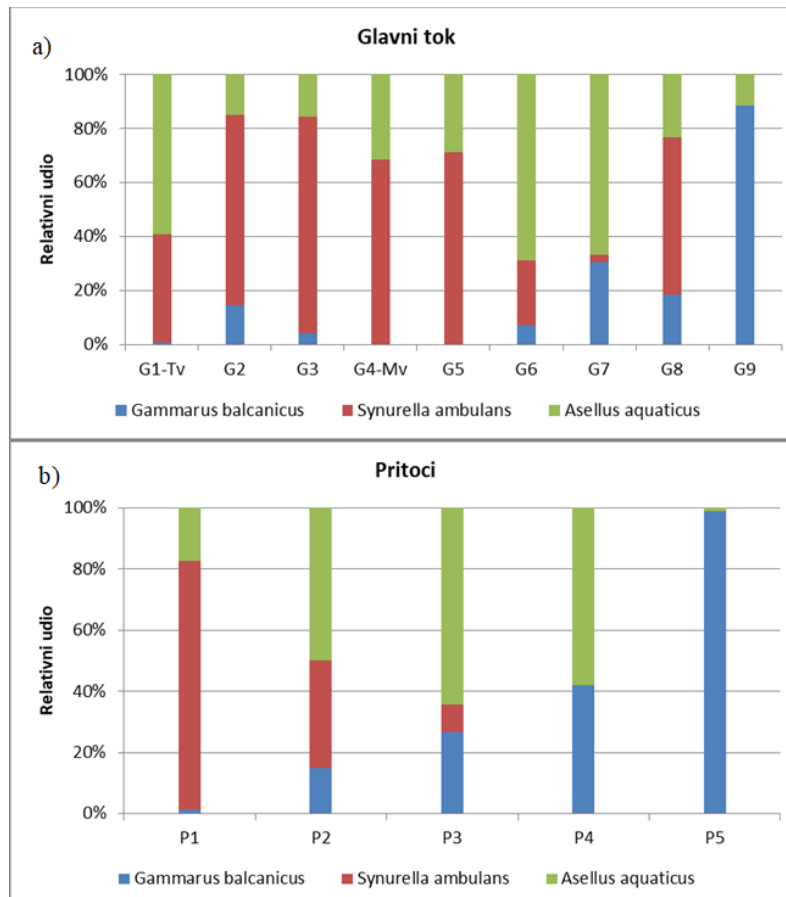
**Slika 4.8.** a) Gustoće perakaridnih rakova na kamenitom supstratu (većina postaja) ili mulju (postaje G7 i G8) b) relativna brojnost perakaridnih rakova na kamenitom suspratu ili mulju. Na postajama P1 i P4 uzorkovanje je provedeno samo na vodenom bilju.

Najveće ukupne gustoće perakaridnih rakova na vodenom bilju ili mahovini zabilježene su na postajama G8, G9, P1 i P4, dok su najmanje gustoće bile na postajama G4-Mv i G6 (Slika 4.8 a) (na postaji G5 vodeno bilje nije uzorkovano). Po relativnom udjelu u zajednici su dominirali ili rakušac *S. ambulans* (na tri postaje, Slika 4.8b) ili jednakonožni rak *A. aquaticus* (na šest postaja), dok je rakušac *G. balcanicus* bio dominantna vrsta na dvije postaje (G9 i P5).



**Slika 4.9.** a) Gustoće perakaridnih rakova na vodenom bilju i/ili mahovini (postaje G7 i G8) b) relativna brojnost perakaridnih rakova na kamenitom suspratu ili mulju. Na postaji G5 uzorkovanje je provedeno samo na kamenitom supstratu.

Po relativnom udjelu na oba tipa supstrata zajedno u glavnom toku su dominirali ili rakušac *S. ambulans* (na 5 postaja) ili jednakonožni rak *A. aquaticus* (Slika 4.9b), osim na postaji G9 gdje je dominirao rakušac *G. balcanicus* (Slika 4.9a). U pritocima su po relativnom udjelu dominirali ili jednakonožni rak *A. aquaticus* ili rakušac *G. balcanicus* (Slika 4.9b), a *S. ambulans* je dominirala samo na postaji P1 (relativni udio vrste *A. aquaticus* (~1%) je bio znatno smanjen na postaji P5).



**Slika 4.10.** a) Relativni udio tri vrste perakaridnih rakova na oba tipa supstrata (kameniti supstrat/mulj i vodeno bilje/mahovina) zajedno u glavnom toku rijeke Gacke, b) relativni udio tri vrste perakaridnih rakova na svim tipovima supstrata u pritocima rijeke Gacke.

## 5. RASPRAVA

Nadzemni rakovi redova Amphipoda (rakušci) i Isopoda (jednakožni rakovi) su široko rasprostranjeni u slatkim vodama Hrvatske. Često postižu velike gustoće populacija te zbog toga imaju veliku važnost u zajednicama makroskopskih beskralježnjaka dna kopnenih voda. Osim što imaju ulogu u ishrani mnogih drugih sekundarnih konzumenata kao što su ribe, imaju važnu ulogu i u razgradnji organskih tvari (Žganec, 2009: 154). Istraživanjima provedenim u okviru ovog diplomskog rada, na području toka rijeke Gacke od glavnih izvora (Majerovog i Tonković vrila) do kraja glavnog toka Gacke kod Vivoza (Otočac), zabilježene su tri vrste nadzemnih rakova, dvije iz reda Amphipoda (rakušci *Gammarus balcanicus* i *Synurella ambulans*) i jedna iz reda Isopoda (*Asellus aquaticus*). Rakušac *G. balcanicus*, zabilježen na 12 od ukupno 14 istraživačkih postaja, a najveće gustoće i dominaciju u zajednici nadzemnih rakova imao je na donjim dijelovima toka Gacke i u pritocima. U izvorskom toku Majerovog vrila i gornjem toku desnog kraka Gacke ispod ovog izvora uopće nije zabilježen, dok je u izvorskom toku Tonković vrila imao male gustoće. Vrsta *G. balcanicus* značajno veću brojnost ostvaruje na donjim dijelovima toka na kamenitom suspratu, dok je vrsta *S. ambulans* najveću gustoću imala na gornjim i izvorskim dijelovima toka. Za vrstu *Asellus aquaticus* ustanovljena je mozaična rasprostranjenost na cijelom istraživanom dijelu toka rijeke Gacke i u pritocima. Dakle, balkanski rakušac nije bio dominantan u izvorima i gornjim dijelovima toka Gacke, kao što je slučaj svugdje drugdje u krškim rijekama u Hrvatskoj (Đurić, 2009; Žganec, 2009). Na primjer najveće gustoće populacije ove vrste u krškoj rijeci Cetina zabilježene su na postajama na gornjem toku Cetine te na gornjem toku pritoke Rude, a nešto manje u glavnom izvoru Cetine Glavaš i u glavnom izvoru Rude. Gustoća balkanskog rakušca imala je jasan trend smanjenja gustoće populacije udaljavanjem od izvorišnih i gornjih dijelova toka u slivu rijeke Cetine (Žganec, 2009). Slična velika brojnost i dominacija ove vrste zabilježena je na izvorskim i gornjim dijelovima toka Krke i lijeve pritoke Kosovčice (Đurić, 2009).

U rijeci Gackoj rakušac *G. balcanicus* veću brojnost postiže nizvodno na postaji G7 koja je na udaljenosti 14,2 km od izvora Tonković vrilo (Slika 4.8). Ovakva neobična rasprostranjenost balkanskog rakušca u Gackoj najvjerojatnije je posljedica presušivanja izvora i gornjih dijelova toka tijekom prošlosti uslijed kojih su vjerojatno zbog smanjenih koncentracija kisika i pH vrijednosti vode u dijelovima toka gdje se voda zadržala. Takve uvjete vjerojatno si

uspjеле preživjeti dvije vrste (*S. ambulans* i *A. aquaticus*) koje su znatno otporije na takve nepovoljne uvjete (Sidorov i Palatov, 2012; Hargeby, 1990). Za vrstu *S. ambulans* utvrđeno je da nastanjuje dijelove toka rijeke s niskim vrijednostima otopljenog kisika. Također Konopacka i Blazewicz-Paszkowycz (2000) navode da je ova vrsta česta u plitkim i močvarnim područjima s nižom koncentracijom kisika, gdje prevladava mulj pomiješan s vegetacijom koja trune.

Iako oba glavna izvora, Majerovo i Tonkovića vrelo, imaju stalan tok, tijekom pojedinih vrlo sušnih godina zabilježeno je prsušivanje izvora. Prema lokalnim izvorima (lokalno stanovništvo, osobna komunikacija), prsušivanje izvora Majerovog vrila dogodilo se 1949. i 1957. godine. Za ogranak s izvorom Tonković vrilo podaci o vodostaju (DHMZ, <http://hidro.dhz.hr/>) postoje za razdoblje od 1987.-2021. g., a tok je prsušio samo tijekom sedam dana od 14.-20.10.1990. g. Prema DHMZ podacima o vodostaju u istom razdoblju, ogranak s izvorom Majerovo vrilo nije prsušio. Dakle, iz ovog je jasno da su oba izvora periodični s vrlo rijetkim radobljima prsušivanja. S obzirom da je u ovom radu uvrđeno da je rakušac *Gammarus balcanicus* bio prisutan u izvoru Tonković vrilo i dijelu gornjeg toka Gacke nizvodno od ovog izvora, vrlo je vjerojatno da je to posljedica ponovnog naseljavanja glavnog toka Gacke iz lijevog pritoka Knjapavac koji najvjerojatnije nije prsušio. Nasuprot tome, desni krak od izvora Majerovo vrilo i dio toka nizvodno nije uspio ponovno naseliti, vjerojatno zato što taj dio toka nema pritoka u kojima su se održale populacije ove vrste, koje bi mogle ponovno naseliti glavni tok Gacke.

Osim spomenutog prsušivanja izvora rijeke Gacke, drugi mogući razlog odsustva rakušca *G. balcanicus* u desnom kraku gornjeg toka Gacke možda je onečišćenje rijeke na ovim dijelovima toka. Tako Štefanac (1999: 60) navodi problem ogromne količine otpada iz ribogojilišta Sinac, koje nije vodilo brigu o otpadnim vodama prilikom proizvodnje konzumne ribe. Pretpostavlja se da se korištenjem stranog materijala, kemijskih i bioloških sredstava stvorio talog koji je fermentirao u toksični mulj pun plinova pri čemu je oštećena flora i fauna Sinačke pučine. S druge strane postojalo je onečišćenje i izvora Tonković vrelo od strane Industrogradnje Zagreb koja je prilikom dobivanja sirovine za proizvodnju vapna koristila velike količine eksploziva pri čemu su se oslobađali veoma štetni plinovi, a otpadne vode tvornica je deponirala neposredno u krške jame iznad izvora (Štefanac, 1999: 61).

Dosadašnjim rezultatima istraživanja utvrđeno je da rakušci u krškim rijekama postižu znatno veće gustoće u mahovini i vodenom bilju u odnosu na kameniti supstrat. Tako Žganec

(2009) navodi da endemski rakušac *Echinogammarus cari* u Gojačkoj Dobri i pritoci Bistrici ima šest puta veću gustoću u mahovini nego na kamenitom supstratu, a slično je zabilježeno i za rakušca *Fontogammarus dalmatinus dalmatinus* (267 puta veća gustoća u mahovini) u gornjem toku Zrmanje, izvoru Krupe i u izvoru Dobarnice. U ovom istraživanju, u rijeci Gackoj i u pritocima, *G. balcanicus* je imao 1,39 puta veće aritmetičke sredine gustoće na kamenitom supstratu u odnosu na vodeno bilje, vrsta *S. ambulans* je imala 2,72 puta veće gustoće na kamenitom supstratu, a vrsta *A. aquaticus* 4,97 puta veće gustoće na vodenom bilju u odnosu na kameniti supstrat. Moguće je da je ovakva mikrodistribucija posljedica kompetitivnih odnosa između ovih vrsta, pa kompetitivno jače vrste *G. balcanicus* i *S. ambulans* istiskuju slabiju vrstu *A. aquaticus* sa kamenitog supstrata.

Mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika vode obuhvaćala su temperaturu vode, koncentraciju i zasićenje vode kisikom, pH i električnu provodljivost. S obzirom na to da je u svrhu ovog istraživanja mjerenje fizikalno-kemijskih čimbenika bilo samo jedanput na svakoj postaji te da nisu poznate sezonske promjene pojedinih fizikalno-kemijskih čimbenika, diskutabilno je zaključivati kako vanjski čimbenici utječu na rasprostranjenost i gustoće istraživanih vrsta. Međutim, jasno je utvrđen gradijent povećanja temperature vode, električne provodljivosti i pH vrijednosti vode u nizvodnom smjeru. Može se pretpostaviti da slične promjene, povećanje u nizvodnom smjeru, vrijede i za aritmetičke sredine i raspone prethodno navedena tri čimbenika, te da duž cijelog istraživanog toka Gacke vladaju optimalni ekološki uvjeti za sve tri istraživane vrste. Istraživanja drugih autora (Mišerić, 2017) na izvorima Majerovo i Tonkovića vrelo pokazuju postojanje vrlo ujednačenih uvjeta u izvorskim tokovima Gacke. Takvi uvjeti su tipični za jaka krška vrela kod nas (Žganec, 2005) i predstavljaju optimalne uvjete za kontinuirano razmnožavanje sve tri vrste istraživanih nadzemnih rakova. Zbog navedenih povijesnih razloga, presušivanja toka i potencijalnog onečišćenja, balkanski rakušac je ili odsutan ili još nije uspio uspostaviti veće gustoće populacija, dok su ostale dvije vrste *S. ambulans* i *A. aquaticus*, vjerojatno zbog kontinuiranog razmnožavanja vrlo brojne i dominiraju u zajednicama makroskopskih beskralježnjaka dna u izvorskim i gornjim dijelovima toka Gacke (Mišerić, 2017). Međutim, u manjim pritocima koji presušuju kao što su Bezimeni potok (postaja P4) i Potok Jarak (postaja P5) koegzigiraju rakušac *G. balcanicus* i jednakonožni rak *A. aquaticus* dok rakušac *S. ambulans* nije zabilježena. U tim pritocima vrijednosti fizikalno-kemijskih čimbenika vode ne odstupaju od onih na ostalim postajama, osim koncentracije kiska

koja je upravo u pritoku P5 bila najniža. Također u pritoku P1 zabilježene su manje vrijednosti kisika nego na ostalim postajama gdje je vrsta *S. ambulans* imala manju gustoću od ostalih dviju istraživanih vrsta rakova. Iako rakušac *S. ambulans* lakše podnosi ovakve situacije (gdje su vrijednosti kisika i pH niske) u odnosu na rakušca *G. balcanicus*, rezultati ovog istraživanja pokazuju da u ovim pritocima, možda zbog velike gustoće rakušca *G. balcanicus* i vjerojatno rijetkog presušivanja toka ovih pritoka, vrste *S. ambulans* i *A. aquaticus* nisu uspjele razviti veće gustoće populacije.

U stalnim pritocima (postaja P2 - potok Knjapavac i P3 - potok Kostelka) zabilježeni su idealni uvjeti za sve tri istraživane vrste i njihove gustoće na toj postaji na kamenitom supstratu imaju približno jednake vrijednosti dok se na vodenom bilju znatno razlikuju. Na ove dvije postaje *G. balcanicus* je dominirao na kamenitom supstratu, dok je *A. aquaticus* dominirao u vodenom bilju gdje je i *S. ambulans* bila brojnija od vrste *G. balcanicus*. Ovdje je vjerojatno rakušac *G. balcanicus* istisnuo konkurentne vrste *A. aquaticus* i *S. ambulans* na vodeno bilje. Rasprostranjenost i gustoće istraživanih vrsta u rijeci Gackoj i pritocima su, dakle, posljedica kompleksnog djelovanja nepoznatih promjena fizikalno-kemijskih čimbenika vode (uslijed presušivanja i onečišćenja ili njihove kombinacije), kao i interakcije među vrstama koje određuju njihovu mikrodistribuciju na istraživanim tipovima mikrostaništa.



## 6. ZAKLJUČAK

Provedbom terenskog istraživanja faune viših rakova nadreda Peracarida (redova Amphipoda i Isopoda) u rijeci Gackoj i njenim pritocima u lipnju 2020. g., ovim radom je analizirana rasprostranjenost tri nadzemne vrste: *Gammarus balcanicus*, *Synurella ambulans* i *Asellus aquaticus*. Istraživanje je obuhvaćalo uzorkovanje duž glavnog toka rijeke Gacke, na glavnim izvorima i na stalnim i povremenim pritocima.

Temeljem prikazanih rezultata mogu se navesti sljedeći zaključci:

- rakušac *Gammarus balcanicus* najveće gustoće postiže na donjim dijelovima toka Gacke, kao i u pritocima na tom dijelu, a uopće nije zabilježen na dvije postaje, u izvorskom toku Majerovog vrila i u dijelu toka nizvodno od ovog izvora. Gustoće ovog rakušca na kamenitom supstratu bile su 0-2.944 jed.m<sup>-2</sup> (arit. sred. 1.003 jed.m<sup>-2</sup>), a u vodenom bilju 0-5.208 jed.m<sup>-2</sup> (arit. sred. 722 jed.m<sup>-2</sup>).
- na izvorima i gornjim dijelovima toka Gacke dominirali su rakušac *Synurella ambulans* i jednakonožni rak *Asellus aquaticus*
- gustoće vrste *S. ambulans* na kamenitom supstratu bile su 0-11.168 jed.m<sup>-2</sup> (arit. sred. 3.079 jed.m<sup>-2</sup>), a u vodenom bilju 0-2.448 jed.m<sup>-2</sup> (arit. sred. 1.133 jed.m<sup>-2</sup>), a ova je vrsta bila brojnija na gornjim dijelovima toka, dok je u srednjim dijelovima toka uglavnom imala manje gustoće
- jednakonožni rak *Asellus aquaticus* imao je najširu rasprostranjenost u Gackoj i pritocima, a njegove gustoće na kamenitom supstratu bile su 48-6.288 jed.m<sup>-2</sup> (arit. sred. 1.399 jed.m<sup>-2</sup>), odnosno 96-2.968 jed.m<sup>-2</sup> (arit. sred. 1.137 jed.m<sup>-2</sup>) na vodenom bilju
- rezultati mjerenja fizikalno-kemijskih čimbenika vode ukazuju na postojanje longitudinalnog gradijenta s porastom temperature vode, električne provodljivosti i pH vrijednosti u nizvodnom smjeru. Koncentracija i zasićenost kisika imala su normalne vrijednosti, a niske vrijednosti izmjerene su samo na jednom pritoku koji presušuje pa u preostalim bazenima s vodom dolazi do smanjenja kisika
- iako bi prema fizikalno-kemijskim čimbenicima vode sve tri vrste trebale biti brojne u izvorskim i gornjim dijelovima toka Gacke, vjerojatno zbog povijesnih razloga (presušivanja toka i potencijalnog onečišćenja) rakušac *G. balcanicus* je tamo bio odsutan

ili imao male gustoće populacija, a dominantne vrste rakova bile su *S. ambulans* i *A. aquaticus*

## 7. LITERATURA

- Arbačiauskas, K. (2008), *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846), a new native amphipod species of Lithuanian waters. *Acta Zoologica Lituanica*, 18 (1), 66-68
- Babić, J. (2013), Dinamika populacija vrste *Synurella ambulans* (Müller, 1846) (Crustacea, Amphipoda) u povremenom izvoru Krčić, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet Biološki odsjek, 1-71
- Bahun, S. (1962), Geološki odnosi okolice Donjeg Pazarišta (trijas i tercijarne Jelar naslage). *Geološki vjesnik*, 16, 161-170, Zagreb
- Balala, M. (2016), Populacijska dinamika i preferencija mikrostaništa podzemnih rakušaca u poplavnoj šumi Crni jarki Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno – matematički fakultet Biološki odsjek, 1-72
- Boets, P., Lock, K. i Goethals, P. L. M. (2010), First record of *Synurella ambulans* (Müller 1846) (Amphipoda: Crangonictidae) in Belgium. *Belg. J. Zool.* 140 (2): 244-245
- Bognar, A., Pavić, R., Ridanović, J., Rogić, V., Šegota, T., (1975), Geografija SR Hrvatske, Knjiga 4. Školska Knjiga, Zagreb
- Bonacci, O., Andrić, I. (2009) Zajednička hidrološka analiza Like i Gacke. Hrvatske vode: Časopis za vodno gospodarstvo, 17/2009/67, str. 1-12.
- Božičević, S. (1992) Fenomen krš. Zagreb: Školska knjiga
- Đurić, P., (2009), Rasprostranjenost i ekologija endemske vrste *Fontogammarus dalmatinus* S. Karaman (Amphipoda, Gammaridae) u slivu Zrmanje i Krke. Magistrski rad. Zagreb, 1-117
- Đurić, P., (2012), Ekologija i rasprostranjenost ugrožene endemske vrste rakušca *Echinogammarus cari* (Amphipoda: Gammaridae) u slivu rijeke Dobre. Doktorski rad. Zagreb, 1-204
- Glazier, D. S. (2009). Springs. U: Likens, G.E. (ur.) *Encyclopedia of inland waters*, str. 734-755.

- Gottstein i sur. (2013), Crveni popis rakova (Crustacea) slatkih i boćatih voda Hrvatske, Hrvatsko biološko društvo 1885, Zagreb, 1-51
- Hargeby, A. (1990). Effects of pH, humic substances and animal interactions on survival and physiological status of *Asellus aquaticus* L. and *Gammarus pulex* (L.) - A field experiment. *Oecologia*, 82(3), 348–354. <https://doi.org/10.1007/BF00317482/METRICS>
- Hargeby, A., Johansson, J., i Ahnesjö, J. (2004), Pigmentacija specifična za stanište u slatkovodnom izopodu: adaptivna evolucija na maloj prostorno-vremenskoj skali, 81–94
- Holsinger, J. R. (1974), Systematics of the Subterranean Amphipod Genus *Stygobromus* (Gammaridae), part I: Species of the Western United States. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 160: 1-63
- Hrvatska agencija za okoliš i prirodu: Bioportal - Ekološka mreža Natura 2000; Bioportal - Karta staništa; Bioportal - Zaštićena područja
- Jadan, M., Čož-Rakovac, R., Topić Popović, N., Strunjak-Perović, I. (2007). Presence of unexpected phylogenetic lineages of brown trout *Salmo trutta* L. in Gacka River, Croatia. *Aquaculture Research*, 38(15), 1682-1685
- Karaman, G. (1974), Contribution to the Knowledge of the Amphipoda. Genus *Synurella* Wrzes. in Yugoslavia with remarks on its all World known species, their synonymy, bibliography and distribution (fam. Gammaridae). *Poljoprivreda i šumarstvo*
- Karaman, G. S. (1977). Contribution to the Knowledge of the Amphipoda 90. Revision of *Gammarus balcanicus* Schäf. 1922 in Yugoslavia (fam. Gammaridae, Amphipoda) . *Poljoprivreda i šumarstvo*, 23(4), 37–60
- Konopacka, A. i Błażewicz-Paszkowycz, M. (2000): Life history of *Synurella ambulans* (F. Müller, 1846) (Amphipoda, Crangonyctidae) from central Poland. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 47: 597-605
- Lantos, G. (1986), Data to the Amphipoda and Isopoda fauna of Töserdö and its environs in the Tisza valley. *Tiscia*, Szeged, 21, 81-87

- Lukač-Reberski, J., Kapelj, S., Terzić, J. (2009), An estimation of groundwater type and origin of the complex karst catchment using hydrological and hydrogeochemical parameters: A case study of the Gacka river springs. *Geologica Croatica*, 62(3), 157-178
- Lukač-Rebarski, J., Marković, T., Nakić, Z. (2013), Definition of the river Gacka springs subcatchments areas on the basis of hydrogeological parameters. *Geologica Croatica*, 66/1:39-53
- Martin, J. W., Davis, G. E. (2001), An Update Classification of the Recent Crustacea. *Natural History Museum of Los Angeles County, Science series 39*, str. 1-124
- MacNeil C, Dick JTA, Elwood RW (1997) The trophic ecology of freshwater Gammarus spp. (Crustacea: Amphipoda): problems and perspectives concerning the functional feeding group concept. *Biological Reviews* 72: 349–364
- Matoničkin, I., Habdija, I., Primc-Habdija, B., (1999), *Beskralješnjaci: biologija viših avertebrata. III prerađeno i dopunjeno izdanje. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu. Školska knjiga. Zagreb.*
- Milan Gomerčić (1998), *Grad Otočac 4, Otočac, Grafika/graftrade Žagar*
- Milan Kranjčević (1999), *Gacka, zemlja i voda, Zagreb, Turistička naklada d.o.o., 1-72*
- Milan Štefanac Ćićo (1999), *Gacka, europska kraljica boje opala. Otočac, Katedra čakavskog sabora pokrajine Gacke, 7-153*
- Mišerić, Ivana, (2017), *Usporedba krenobiocenoza dvaju izvora rijeke Gacke, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 1-74*
- Narodne novine (2013), *Odluka o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima. Narodne novine d.d., 82, Zagreb*
- Ruppert E. E., Barnes R. D. (1996) *Invertebrate zoology, Saunders Colledge Publishing, Fort Worth, str. 1-1056*

- Sidorov, D., Palatov, D. (2012), Taxonomy of the spring dwelling amphipod *Synurella ambulans* (Crustacea: Crangonyctidae) in West Russia: with notes on its distribution and ecology. *European Journal of Taxonomy*, 23, 1-19
- Smith H, Wood PJ, Gunn J (2001), The macroinvertebrate communities of limestone springs in the Wye Valley, Derbyshire Peak District, UK. *Cave and Karst Science* 28 (2): 67- 78
- Sutcliffe D. W., Carrick T. R., Willoughby L. G., (1981), Effects of diet, body size, age and temperature on growth rates in the amphipod *Gammarus pulex*. *Freshwater Biology*. 11: 183-214. England.
- Sutcliffe, D. W., (1992). Reproduction in *Gammarus* (Crustacea, Amphipoda): Basic Processes
- Väinölä R, Witt JDS, Grabowski M, Bradbury JH, Jażdżewski K, Sket B (2007) Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 241–255
- Väinölä, R., Witt, J. D. S., Grabowski, M. (2008) Global diversity of amphipods (Amphipoda; Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595: 241-255
- Velić, I., Velić, J. (2009), Od morskih plićaka do planine. Geološki vodič kroz Nacionalni park Sjeverni Velebit [From Marine Shallows to the Mountain: Geological Guidebook through the Northern Velebit National Park – In Croatian].– NP Sjeverni Velebit, Krasno (Croatia), 1-143
- Zieliński, D. (1995), Life history of *Gammarus balcanicus* Schäferna, 1922 from the Bieszczady Mountains (eastern Carpathians, Poland). *Crustaceana* 68 (8): 61-72.
- Zollhöfer J. M., Brunke M., Gonser T. (2000), A typology of springs in Switzerland by integrating habitat variables and fauna. *Arch. Hydrobiol. Suppl. Monogr. Stud.* 121 (3-4), 349-376
- Zwicker, G., Žeger Pleše, I., Zupan, I. (2008), Zaštićena geobaština Republike Hrvatske, Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, str. 1-80

- Žganec, K. (2005), Struktura i dinamika krenobiocenoza u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Magistarska teza. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Biološki odsjek. Zagreb, 1-178
- Žganec K, Gottstein S, Hudina S (2009) Ponto-Caspian amphipods in Croatian large rivers. *Aquatic Invasions* 4(2), doi: 10.3391/ai.2009.4.2.4
- Žganec, K. (2009), Rasprostranjenost i ekologija nadzemnih rakušaca (Amphipoda: Gammaroidea) slatkih i bočatih voda Hrvatske. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Biološki odsjek. Zagreb, 1-222
- Žganec K, Đurić P, Gottstein S (2011) Life history traits of the endangered endemic amphipod *Echinogammarus cari* (Crustacea, Gammaridae) from the Dinaric Karst. *International Review of Hydrobiology* 96(6): 686–708, doi: 10.1002/iroh.201111370

#### Internetski izvori

- URL 1.: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gammarus\\_GLERL\\_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gammarus_GLERL_1.jpg) (preuzeto 10.1.2022)
- URL 2.: [http://urmaskruus.planet.ee/pohjaloomad/V\\_failid/Synurella%20ambulans.html](http://urmaskruus.planet.ee/pohjaloomad/V_failid/Synurella%20ambulans.html) (preuzeto 10.1.2022)
- URL 3.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8571603/> (preuzeto 19.2.2023)
- URL 4.: <https://crustacea-g2n.mozello.com/isopoda/asellus-aquaticus/> (preuzeto 10.1.2022)
- URL 5.: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2021.748212/full#F2> (preuzeto 10.1.2022)
- URL 6.: <https://tinyurl.com/mr4btsna> (preuzeto 8.2.2022)
- URL 7.: <http://www.biportal.hr/gis/> (preuzeto 9.2.2022)

## 8. PRILOZI

### POPIS SLIKA:

|   |    |
|---|----|
| <b>Slika 1.1.</b> Taksonomska klasifikacija istraživanih vrsta (prema: Martin i Davis, 2001).....   | 2  |
| <b>Slika 1.2.</b> Odrasla jedinka rakušca vrste <i>Gammarus balcanicus</i> (Foto: KŽ).....  | 7  |
| <b>Slika 1.3.</b> Odrasla jedinka rakušca vrste <i>Synurella ambulans</i> .....   | 8  |
| <b>Slika 1.4.</b> Varijabilnost pigmentacije leđne strane jednakonožnog raka <i>Asellus aquaticus</i> .....   | 10 |
| <br>  |    |
| <b>Slika 2.1.</b> Sliv rijeke Gacke (zelena linija) s glavnim pritocima i prikazom reljefa, centroidima naselja i cjevovodima/kanalima (crne linije) koji povezuju rijeku Liku, Gacku, akumulaciju Gusić s hidroelektranom Senj.....                              | 15 |
| <b>Slika 2.2.</b> a) Istraživane postaje (crvene točke) na glavnom toku rijeke Gacke (G1-G9) i na pritocima (P1-P5) s prikazom reljefa i centroidima naselja, b) prikaz istraživanih postaja, tokova Gacke i pritoka na satelitskoj snimci u Google Earth-u. .... | 17 |
| <b>Slika 2.3.</b> a) Uzorkovanje na izvorskom toku odmah ispod izvora Tonković vrila (G1-Tv), b) izvorski tok ispod Tonković vrila (Foto: a-KŽ i b-SM). ....  | 18 |
| <b>Slika 2.4.</b> Postaja G2 na Gackoj u Sincu 350 m nizvodno od Tonković vrila, odmah uzvodno od utoka prvog lijevog pritoka (Foto: SM).....   | 19 |
| <b>Slika 2.5.</b> Postaja Gacka-3 (G3) kod utoka potoka Knjapavac (Foto: SM). ....  | 19 |
| <b>Slika 2.6.</b> a) Postaja G4-Mv na desnoj obali odmah kraj mlinica, b) Majerovo vrilo (Foto: a-KŽ, b-SM).....  | 20 |
| <b>Slika 2.7.</b> Postaja Gacka-5 (G5), 550 m nizvodno od Majerovog vrila kod mosta u mjestu Sinac (Foto: SM).....  | 21 |
| <b>Slika 2.8.</b> Postaja Gacka-6 na ušću Kostelke (G6) u Ličkom Lešću (Foto: SM).....  | 21 |
| <b>Slika 2.9.</b> Postaja Gacka-7 (G7) oko 14 km nizvodno od Tonković vrila kod utoka malog lijevog pritoka između mjesta Rogići i Obilje (Foto: KŽ).....   | 22 |
| <b>Slika 2.10.</b> Postaja Gacka-8 (G8) kod mjesta Prozor oko 14,9 km nizvodno od Tonković vrila (Foto: SM).....  | 22 |
| <b>Slika 2.11.</b> Postaja Gacka-9 (G9) kod mjesta Vivioze oko 17,4 km nizvodno od Tonković vrila (Foto: SM).....   | 23 |



|   |    |
|---|----|
| <b>Slika 2.12.</b> Postaja P1 na donjem toku malog lijevog pritoka Pucirep čije ušće se nalazi 350 m nizvodno od Tonković vrila (Foto: SM).....   | 23 |
| <b>Slika 2.13.</b> Postaja na srednjem toku potoka Knjapavac (P2) (Foto: SM).....   | 24 |
| <b>Slika 2.14.</b> Postaja P3 oko 10 m uzvodno od ušća Kostelke u Gacku (Foto: SM).....   | 24 |
| <b>Slika 2.15.</b> Postaja P4 na donjem toku malog lijevog pritoka Gacke oko 10 m udaljena od postaje G7 (Foto: SM).....  | 25 |
| <b>Slika 2.16.</b> Postaja P5 na potoku Jarak, desnom pritoku Gacke, oko 20 m uzvodno od ušća potoka (Foto: SM).....  | 25 |
|   |    |
| <b>Slika 3.1.</b> Prikaz uzorkovanja na četiri različita tipa mikrostaništa (M1-M4) pri terenskom istraživanju u lipnju 2020. g. (Foto: KŽ i SM).....   | 26 |
| <b>Slika 3.2.</b> Mjerenje mjerenja fizikalno-kemijskih čimbenika vode pomoću Mettler Toledo sonde (Foto: SM).....  | 28 |
| <b>Slika 3.3.</b> Prikaz postupka prikupljanja uzoraka: A - ručna bentos mreža (25x25cm, promjera oka mreže 500 μm); B - uzorkovanje u glavnom toku Gacke; C - postupak dekantiranja uzorka, odvajanje životinja i ostalog organskog materijala od supstrata; D - konzerviranje uzorka u bočice, E - plastične kadice s uzorkom u 96%-tnom etilnom alkoholu, F - bočice za pohranjivanje pročišćenih i konzerviranih uzoraka (Foto: KŽ i SM)..... | 31 |
| <b>Slika 3.4.</b> Postupak odvajanja rakova iz uzoraka u laboratoriju (Foto: SM).....   | 32 |
|   |    |
| <b>Slika 4.1.</b> Temperatura vode na istraživanim postajama izmjerena 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima, glavni izvori G1-Tv: Tonković vrilo, G4-Mv: Majerovo vrilo).....  | 33 |
| <b>Slika 4.2.</b> Koncentracija otopljenog kisika na istraživanim postajama izmjerena 2. i 3. 6. 2020. godine (G- postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).....  | 34 |
| <b>Slika 4.3.</b> Zasićenje vode kiskom na istraživanim postajama izmjereno 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).....   | 35 |
| <b>Slika 4.4.</b> Električna provodljivost vode na istraživanim postajama izmjerena 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).....   | 36 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Slika 4.5.</b> pH vrijednost vode izmjerena na svim istraživanim postajama 2. i 3. 6. 2020. godine (G-postaje na rijeci Gackoj, P-postaje na pritocima).....  | 37 |
| <b>Slika 4.6.</b> Gustoće populacija tri vrste rakova: a) <i>Gammarus balcanicus</i> , b) <i>Synurella ambulans</i> , c) <i>Asellus aquaticus</i> na svim istraživanim postajama na dva tipa supstrata, KAM/MULJ - kamenitom supstratu (većina postaja) ili mulju (postaje G7 i G8), VB/MAH – vodenom bilju i/ili mahovini. .... | 38 |
| <b>Slika 4.7.</b> Aritmetičke sredine gustoća tri vrste rakova, a) <i>Gammarus balcanicus</i> , b) <i>Synurella ambulans</i> , c) <i>Asellus aquaticus</i> na dva tipa supstrata (KAM/MULJ, VB/MAH) na devet postaja u rijeci Gackoj i na pet postaja u pritocima. ....  | 41 |
| <b>Slika 4.8.</b> a) Gustoće perakaridnih rakova na kamenitom supstratu (većina postaja) ili mulju (postaje G7 i G8) b) relativna brojnost perakaridnih rakova na kamenitom suspratu ili mulju. Na postajama P1 i P4 uzorkovanje je provedeno samo na vodenom bilju.....   | 42 |
| <b>Slika 4.9.</b> a) Gustoće perakaridnih rakova na vodenom bilju i/ili mahovini (postaje G7 i G8) b) relativna brojnost perakaridnih rakova na kamenitom suspratu ili mulju. Na postaji G5 uzorkovanje je provedeno samo na kamenitom supstratu. ....   | 43 |
| <b>Slika 4.10.</b> a) Relativni udio tri vrste perakaridnih rakova na oba tipa supstrata (kameniti supstrat/mulj i vodeno bilje/mahovina) zajedno u glavnom toku rijeke Gacke, b) relativni udio tri vrste perakaridnih rakova na svim tipovima supstrata u pritocima rijeke Gacke. ....   | 44 |

## POPIS TABLICA:

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablica 1.</b> Značajke istraživanih postaja s obližnjim mjestima i lokalitetima, skraćenicama i geografskim koordinatama za svih 14 postaja (9 na glavnom toku i 5 na pritocima Gacke) te fizikalno-kemijski čimbenici vode izmjereni prilikom uzorkovanja..... | 29 |
| <b>Tablica 2.</b> nastavak.....   | 30 |