

# Biološke i ekološke značajke invazivnog plavog raka (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) u ornitološkom rezervatu Palud - Palù

---

Čief, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:301246>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-05**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet prirodnih znanosti  
Sveučilišni prijediplomski studij Znanost o moru

MATEJ ČIEF

Biološke i ekološke značajke invazivnog plavog raka  
(*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) u ornitološkom  
rezervatu Palud – Palù

Završni rad

Pula, rujan 2023.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet prirodnih znanosti  
Sveučilišni prijediplomski studij Znanost o moru

MATEJ ČIEF

Biološke i ekološke značajke invazivnog plavog raka  
(*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) u ornitološkom  
rezervatu Palud – Palù

Završni rad

JMBAG: 0303095126

Studijski smjer: Prijediplomski studij Znanost o moru

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Predmet: Beskralješnjaci mora

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mauro Štifanić

Komentor: dr.sc. Neven Iveša

Pula, rujan 2023.



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisan Matej Čief, kandidat za prvostupnika Znanosti o moru ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student: Matej Čief

U Puli, 2023. godine.



## IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, Matej Čief dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom „Biološke i ekološke značajke invazivnog plavog raka (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) u ornitološkom rezervatu Palud – Palù” koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu sa Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama. Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 2023. godine.

Potpis

## ZAHVALA

Zahvaljujem se svom mentoru i profesoru izv. prof. dr. sc. Mauru Štifaniću na prihvaćaju mentorstva, podršci, stručnom vođenju i svom prenesenom znanju za vrijeme studiranja.

Zahvaljujem se svom komentoru dr.sc. Nevenu Iveši na razumijevanju i strpljenju, pomoći pri laboratorijskim obradama te iznimno korisnim savjetima i podršci.

Također se zahvaljujem djelatnicima Javne ustanove za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode u Istarskoj županiji "Natura Histrica": Claudiji Fiorentin, Svjetlani Lupret Obradović, Luki Meštoviću, Andrei Dekliću i Mladenu Perčiću na sakupljanju i dostavi jedinki plavih rakova.

Zahvaljujem se svim profesorima studijskog smjera Znanosti i moru, na svom prenesenom znanju i iskustvu.

Zahvaljujem svim članovima komisije na savjetima i komentarima za poboljšanje ovoga rada.

Zahvaljujem se također svojoj obitelji, kolegama i prijateljima na velikoj podršci i strpljenju koje su imali za mene za vrijeme studiranja.

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Rasprostranjenost i povijest istraživanja .....	1
1.2. Opće biološke značajke plavog raka .....	4
1.2.1. Morfologija .....	5
1.2.2. Reprodukcijski i životni ciklus .....	7
1.2.3. Struktura probavnog sustava .....	10
1.3. Cilj rada .....	12
2. MATERIJALI I METODE .....	13
2.1. Područje istraživanja .....	13
2.2. Prikupljanje i obrada jedinki plavog raka .....	14
2.3. Fultonov indeks kondicije (FI %) .....	15
2.4. Hepatosomatski indeks (HSI %) .....	16
2.5. Gonadosomatski indeks (GSI %) .....	16
2.6. Analiza sadržaja probavila plavog raka .....	16
2.6.1. Intenzitet prehrane .....	16
2.6.2. Sastav prehrane .....	17
3. REZULTATI .....	18
3.1. Abiotički faktori po sezonama .....	18
3.2. Struktura populacije .....	19
3.2.1. Omjer spolova .....	19
3.2.2. Fultonov indeks (FI %) .....	21
3.2.3. Hepatosomatski indeks (HSI %) .....	22
3.2.4. Gonadosomatski indeks (GSI %) .....	24
3.3. Sadržaj i popunjenost probavila plavog raka .....	25
4. RASPRAVA .....	29
5. ZAKLJUČAK .....	34
6. POPIS LITERATURE .....	35
7. POPIS SLIKA I TABLICA .....	41
8. SAŽETAK .....	42
9. ABSTRACT .....	43

# 1. UVOD

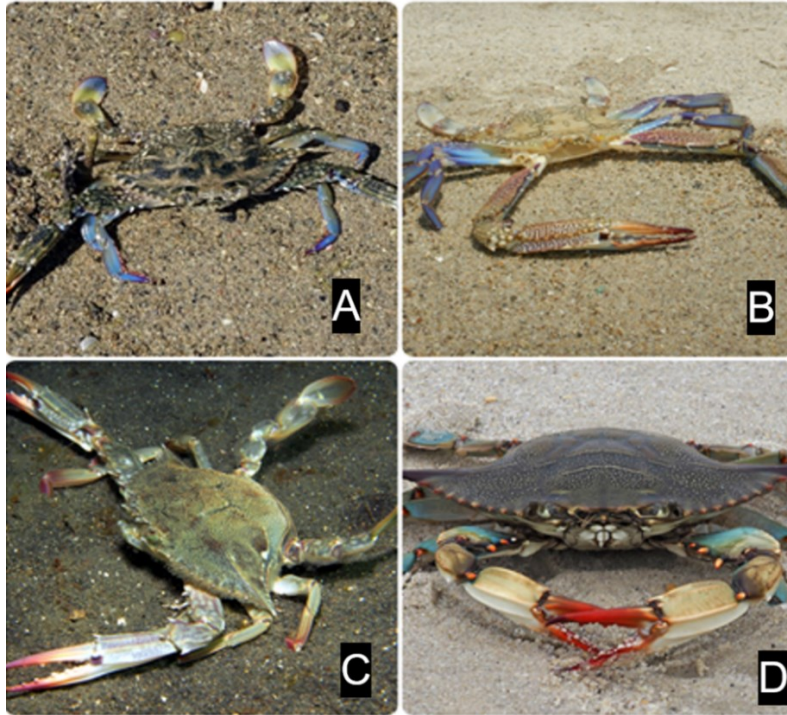
Invazivne vrste postale su problem globalnog karaktera. Od 113 invazivnih vrsta u Jadranu, 52 su posljedica klimatskih promjena dok ih je 64, smatra se, uneseno namjerno ili slučajno (Njegovan, 2014). Sinergijski djelujući s degradacijom staništa i prekomjernim iskorištavanjem resursa, ove vrste doprinose značajnom smanjenju bioraznolikosti i destabilizaciji autohtonih ekosustava. Jedan od najistaknutijih primjera invazivnih vrsta u Jadranskom moru je atlantski plavi rak (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) koji se zbog uspješne kolonizacije novih staništa, adaptabilnosti klimatskim promjenama, visokog reproduktivnog potencijala i izostanka prirodnih predatora smatra jednom od 100 najinvazivnijih vrsta na Sredozemlju (Rabaoui i sur., 2015).

## 1.1. Rasprostranjenost i povijest istraživanja

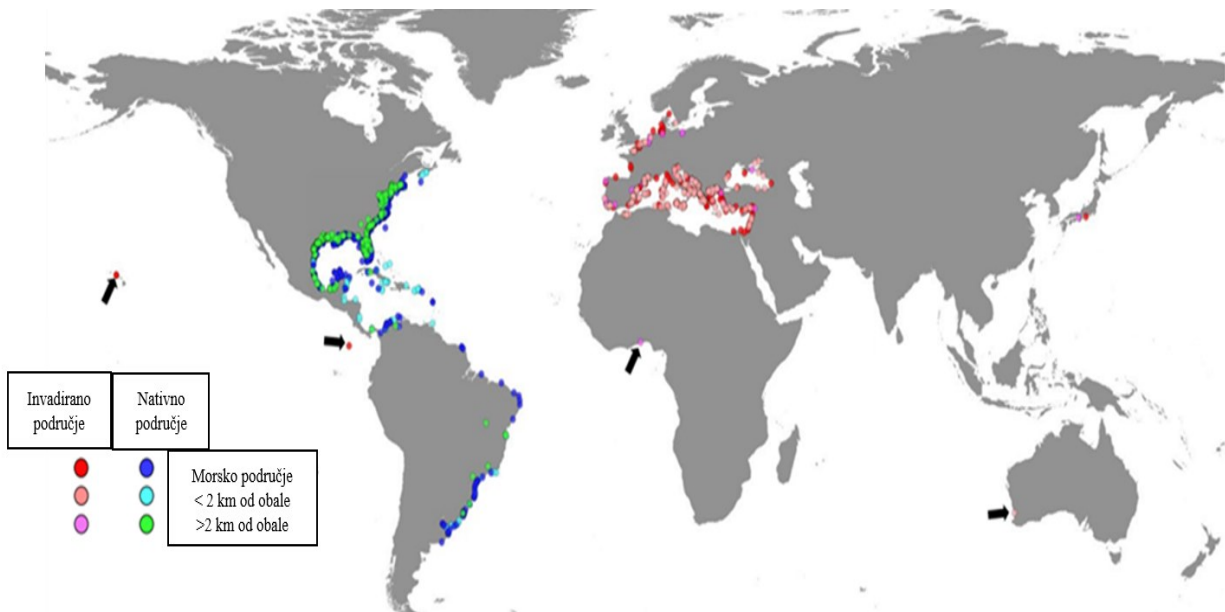
Atlantski plavi rak je autohton u zapadnom Atlantiku gdje je rasprostranjen od Nove Škotske do Argentine. Prva ga je opisala Mary Jane Rathbun, 1896. godine. Vrsta je u Europi prvi put zabilježena 1900. godine kod francuske obale. U Mediteranu je prvi put opisan 1949. godine na području Tršćanskog zaljeva. Na hrvatskoj strani Jadrana je prvi put zabilježen 2004. godine na ušću Neretve. Prvi zapisi o prisutnosti ove vrste u Baltičkom moru datiraju iz 1951. godine, u Crnom moru iz 1967. godine te u Azovskom moru iz 1967. godine. Postoje tri glavne hipoteze unosa plavog raka u Sredozemlje; prirodni dolazak zbog izražene sposobnosti plivanja, prijenos balastnim vodama kao posljedica intenzivnog pomorskog prometa te namjerno unošenje u cilju njegove komercijalizacije (Falsone i sur., 2020). Vjeruje se da je plavi rak često pogrešno determiniran te zamijenjen s vrstama *Neptunus pelagicus*, *Portunus segnis* ili *Portunus pelagicus* (Slika 1.) (Manfrin, 2016). Mancinelli i sur. (2021) proučavali su rasprostranjenost plavog raka pomoću međunarodne baze podataka; Global Biodiversity Information Facility (GBIF), alata za kartiranje areala vrsta; Biodiversity Information Serving Our Nation (BISON) i informacijskog sustava oceanske bioraznolikosti; Ocean



Biogeographic Information System. Podatci su sadržavali 40 388 zapisa o plavom raku, 39 824 iz domaćih i 564 iz invadiranih područja, unutar 53 države (Slika 2.). Rezultati ne čude jer je vrsta predmet širokog znanstvenog proučavanja već 125 godina (Mancinelli i sur., 2021). Zapažena su migriranja prema sjeveru unutar autohtonog područja obitavanja što je potaknuto globalnim zagrijavanjem mora. Zagrijavanje obalnih voda potaknulo je širenje plavih rakova u zaljevu Maine 100 km sjeverno od povijesno zabilježenih raspona kretanja (Mancinelli i sur., 2017). Plavi rak zabilježen je i u posebnom rezervatu Palud – Palù, koji graniči s područjem od osobitog značaja za ptice (POP), uvrštenim u Ekološku mrežu NATURA 2000 pod kodom HR1000032 (Akvatorij zapadne Istre). Od 240 zabilježenih ptičjih svojti, na listi vrsta prioriternih za zaštitu navedenog NATURA 2000 područja, sukladno Dodatku II i članku 4. Direktive 2009/147/EC nalaze se sljedeće zaštićene svojte: *Phalacrocorax aristotelis desmarestii*, *Gavia arctica*, *Gavia stellata*, *Alcedo atthis*, *Sterna hirundo* i *Sterna sandvicensis*. Od autohtonih rakova iz reda Decapoda su utvrđeni *Eryphia spinifrons*, *Xanto sp.*, *Maja crispata*, *Palaemon sp.*, *Carcinus maenas* i *Pachygrapsus marmoratus*. Ihtiofaunu obližnjeg mora većinski sačinjavaju *Diplodus vulgaris*, *Diplodus puntazzo*, *Symphodus tinca*, *Symphodus ocellatus*, *Sparus aurata* te *Salpa sarpa*, koji su utvrđeni na izlaznom području močvare prema moru dok su u unutrašnjim dijelovima rezervata dodatno zabilježeni; *Gambusia sp.*, *Chelon saliens*, *C. auratus*, *Mugil cephalus* i *Anguilla anguilla* (Gavrilović i sur., 2021; Tutman i Iveša, 2022).



Slika 1. *Neptunus pelagicus* (A), *Portunus segnis* (B), *Portunus pelagicus* (C), *Callinectes sapidus* (D) (raspoloživo na poveznici <https://tinyurl.com/27kfkokw>, <https://tinyurl.com/youzmans>).



Slika 2. Rasprostranjenost atlantskog plavog raka (raspoloživo na poveznici <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00888-w>).

## 1.2. Opće biološke značajke plavog raka

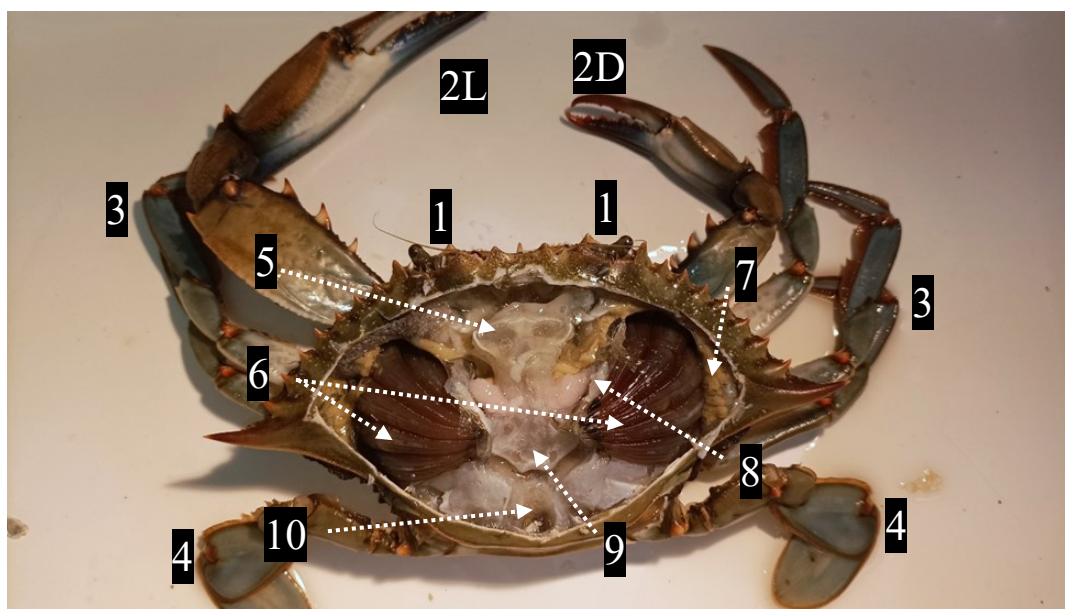
Plavi rak pripada carstvu životinja (Animalia), velikom koljenu člankonošaca (Arthropoda), podkoljenu rakova (Crustacea) u kojem se nalazi oko 35 000 poznatih vrsta (Hrvatska enciklopedija, 2021). Nadrazred je Multicrustacea, razred viših rakova (Malacostraca). Plavi rak se svrstava u podrazred Eumalacostraca, nadred Eucarida. Budući ima deset nogu pripada redu deseteronogih rakova (Decapoda), međuredu kratkorepih rakova (Brachyura), odjelu Eubrachyura i pododjelu Heterotremata. Zadnji par nogu preobražen je u plivajuća krilca zbog čega se ubraja u nadporodicu plivajućih rakova (Portunoidea), porodice Portunidae. Rodu *Callinectes* pripadaju 16 različitih vrsta, među kojima je i atlantski plavi rak (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) (Horton i sur., 2021). Atlantskog plavog raka karakteriziraju visok reproduksijski potencijal i eurivalentnost. Njegov temperaturni optimum je u rasponu od 10 °C do 30 °C te podnosi salinitet do 118 ‰. Zbog negativnog utjecaja na autohtonu faunu, nedostatka prirodnih predatora kao što su kornjače, čaplje, prugasti lubin ili crvene hame, uspješne kolonizacije te uzrokovanja ekonomskih šteta, ova se vrsta svrstava među 100 najopasnijih invazivnih vrsta Sredozemlja. Budući je bentoska životinja, plavi rak dijeli istu skupinu trofičkih resursa s bentivorima. Sadržaj i količina hrane unutar iste vrste varira ovisno o reproduktivnom ciklusu, dobi i okolišu. Omnivor je s preferencijom za životinjsku hranu. Hrani se ribama, školjkašima, rakovima, algama, detritusom, mnogočetinašima, mekušcima i uginulim organizmima. Usto je i kanibal. Prehrana može utjecati na homeostazu, reprodukciju, fiziologiju, nakupljanje teških metala, fekunditet i životni vijek. Izrazito je pokretljiv, prosjek brzine kretanja je 15,5 m/h s 20 - 40 zaveslaja u minuti, iako se može kretati i do 140 m/h. (Manfrin, 2015). Budući povezuje više trofičkih razina, važan je za prijenos energije (ugljika i dušika) između bentoske i nektonske zajednice. Hrana plavih rakova se razlikuje ovisno o njegovom razvojnom stadiju. Tako se tek izvaljene ličinke hrane fitoplanktonom, a stadij megalope zooplanktonom. Za opstanak juvenilnih plavih rakova esencijalna su staništa morskih cvjetnica ili makroalgi zbog raznolikosti faune, dok se odrasli prehranjuju mesom beskralješnjaka i ribama. Belgrad i Griffen (2016) testirali su ponašanje plavih rakova držanih u eksperimentalnim uvjetima isključivo na prehrani makroalgama te su uvidjeli izraženiju agresivnost istraživanih jedinki uslijed

nedostatka životinjske hrane, a zabilježili su i manji reprodukcijski potencijal. Suprotno tome rakovi čija se prehrana sastojala isključivo od životinjskog tkiva imali su znatno niži mortalitet i konzumirali su puno više hrane (Belgrad i Griffen, 2016). Plavi rak nastanjuje obalne lagune te se u zavisnosti o stadiju životnog ciklusa nalazi na različitim tipologijama dna i dubinama, od kojih je najveća zabilježena dubina 90 m (Falsone i sur., 2020). Juvenilnim jedinkama koji se vraćaju iz mora u boćati mediji iznimno su važne livade morskih cvjetnica poput vrsta *Zostera marina* i *Rupia maritima* ili zelene alge *Ulva lactuca* jer im pružaju hranu i utočište od većih predatora (Kennedy i Cronin, 2007). Smatra se da je čest razlog mortaliteta plavog raka upravo kanibalizam, stoga je frekvencija autotomije pozitivno korelirana s gustoćom populacije. Autotomija, odnosno samoamputacija je učinkovit način za zbuniti predatora i smanjiti smrtnost. Međutim postoje i negativne strane, a one su manja kompeticija oštećene jedinke za prostor i hranu, energetski zahtjevan proces regeneracije i sve rjeđa presvlačenja rakova s vremenom. Procjenjuje se kako plavom raku trebaju tri do četiri presvlačenja za potpunu regeneraciju tjelesnih nastavaka, što će puno prije ostvariti mlađe jedinke zbog učestalijeg presvlačenja. Uz atlantskog plavog raka sposobnost autotomije imaju i drugi dekapodni rakovi kao što su *Cancer magister*, *Carcinus maenas*, *Menippe mercenaria*, *Paralithodes camtschaticus* i *Chionoecetes bairdi*. Ukoliko dođe do gubitka glavnih desnih kliješta (eng. *crusher*), lijeva (eng. *cutter*) se presvlačenjem preoblikuje u glavna kliješta te završetkom regeneracije zamjenjuju strane (Smith i Hines, 1991).

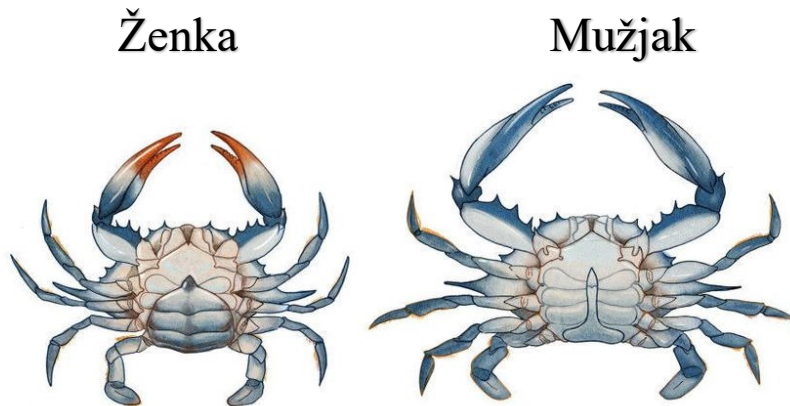
### **1.2.1. Morfologija**

Prvi sloj kutikule čini vodootporni voštani sloj, ispod kojeg je sloj od proteina i hitina koji daje čvrstoću i fleksibilnost oklopu. Za osjetilo dodira služe im dlake i četine na kutikuli. Kako oklop ne raste zajedno s jedinkom, potrebno je presvlačenje (ekdisis). Hepatopankreas je smješten u središnjim šupljinama i rubovima oklopa. Srce je sedlastog oblika smješteno u perikardijanoj šupljini i sadrži dva para ostija smještenih dorzalno i lateralno. Anteriorno se nalazi želudac na koje se nastavlja crijevo. Prvi par nogu je preobražen u kliješta, slijede tri para nogu za hodanje te na kraju par nogu za plivanje. U središnjem dijelu između škrga nalaze se gonade. U visceralnoj šupljini, poviše

endoskeleta, na lateralnim stranama smješteno je 8 škržnih nastavaka (Rukavina, 2022). Na Slici 3. prikazani su organi visceralne šupljine plavog raka. Vidljiv je također primjer zamjene kliješta presvlačenjem, gdje su desna kliješta manja od lijevih. Usta sačinjavaju gornja čeljust (mandibula) i dva para donjih čeljusti (maksilula i maksila). Mandibula je čvrsto fiksirana, maksile su parne, spljoštene i imaju znatan stupanj slobode pokreta. U plavih rakova prisutan je spolni dimorfizam (Slika 4.). Kod oba spola je oklop maslinasto zelen do plav s lateralno smještenim bodljama na krajevima glavopršnjaka, ali se razlikuju po kliještima i obliku abdomena. Za razliku od rakovica (Majidae) i porodice Ocypodidae, plavim rakovima se kliješta ne razlikuju oblikom već samo bojom. Mužjaci imaju plavi vrh kliješta dok je u ženki on narančasto-crven. Abdomen je u mužjaka nalik na slovo T, dok je u ženke širi, a nakon terminalnog presvlačenja dobije i polukružni oblik. Mužjaci su u prosjeku veći. Plavi rak ima dva različita kliješta. Desno je veće i dominantno, vrši veću silu pri drobljenju plijena te ima ulogu gnječenja, zbog čega se još naziva i *crusher*. Lijeva kliješta su manja s gustim nazubljenjima te ima ulogu trganja i komadanja, zbog čega se još nazivaju i *cutter*. Oči su složene, sastavljene od velikog broja omatidija i lagano izdignute (Blundon i Kennedy, 1982; Giacotto, 2022).



Slika 3. Osnovne morfološke značajke plavog raka: (1) oči, (2) Lijeva (L) i desna (D) kliješta, (3) noge za hodanje, (4) plivajuća krilca, (5) želudac, (6) škrge, (7) hepatopankreas, (8) gonade, (9) srce, (10) stražnje crijevo (autor: Matej Čieľ).

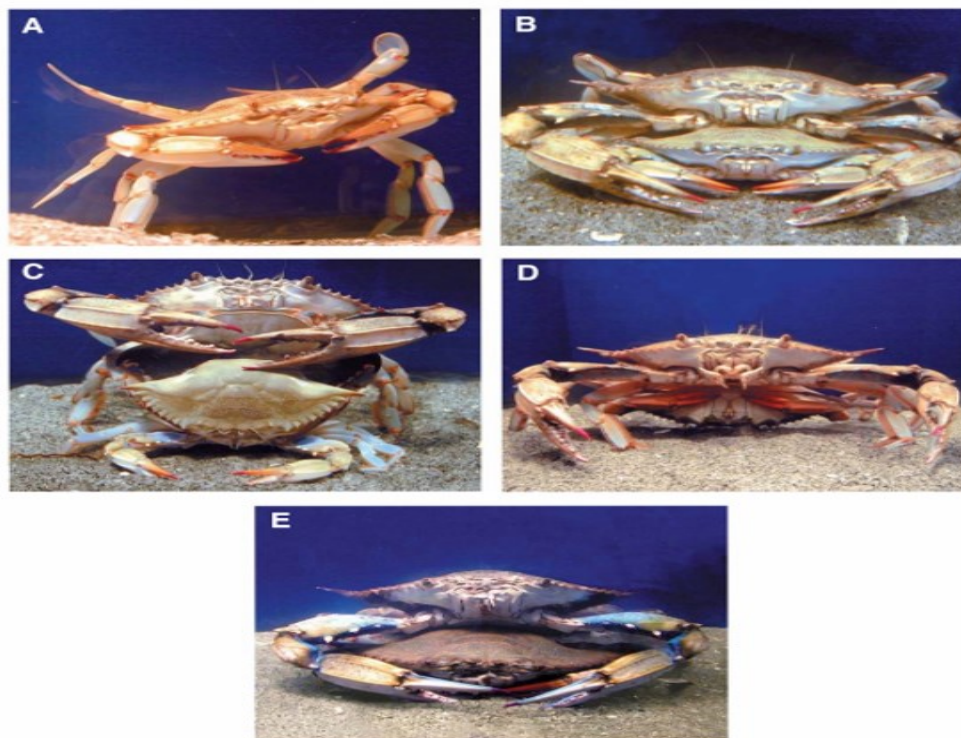


Slika 4. Spolni dimorfizam plavog raka (raspoloživo na poveznici <https://tinyurl.com/23zyfzlu>).

### 1.2.2. Reprodukcija i životni ciklus

Spolna zrelost se osim po formiranim gonadama može odrediti i po širini glavopršnjaka. Spolno nezrelim jedinkama smatraju se svi plavi rakovi čija je širina glavopršnjaka manja od 94 milimetra (Mancinelli i sur., 2016). Mužjaci se presvlače učestalo do odrasle faze te jedan do tri puta kao odrasli, dok se ženke prestaju presvlačiti nakon što postanu spolno zrele. Razmnožavanje kod plavih rakova uključuje udvaranje posredovano feromonima koji se prenose mokraćom ženki, nakon čega slijedi kopulacija, skladištenje sperme u spermatekama, i unutarnja oplodnja. Parenje može trajati 5 - 12 sati (Hill, 2004). Ejakulat se sastoji od sjemene tekućine i paketića sperme; spermatofora. Vanjski dio muškog reproduktivnog sustava nalazi se ispod abdomena i sastoji se od gonopodija, sekundarnih pleopoda i primarnih pleopoda. Ženski spolni sustav sastoji se od parnih ovarija i spermateka koje su povezane s genitalnim porama preko vaginalnih kanala na ventralnoj strani. Pleopodi imaju ulogu pridržavanja jaja. Za razliku od mužjaka, ženke plavog raka pare se samo jednom u životu i to odmah nakon pubertetskog ili završnog presvlačenja. Parenju prethodi i predkopulacijsko čuvanje partnera, pri čemu mužjak nosi ženku ispod svog abdomena nekoliko dana prije terminalnog presvlačenja ženke (Slika 5.). Nakon kopulacije, ženke ostaju unutar tog područja kako bi se hranile, oporavile od presvlačenja i počele nakupljati zalihe hranjivih tvari tijekom ljeta i rane jeseni. Za to vrijeme mužjak štiti mekanu ženku dok joj se oklop ne kalcificira. Ženke su iznimno fertile

te izbacuju i do dva milijuna oplodjenih jaja. Odnos broja spermija i jaja je 66:1. Reprodukcijski ciklus je uvelike povezan s uvjetima okoliša. Temperatura i dužina dana reguliraju presvlačenje, a salinitet izbacivanje jajašaca i migraciju ženki (Epifanio, 2019).

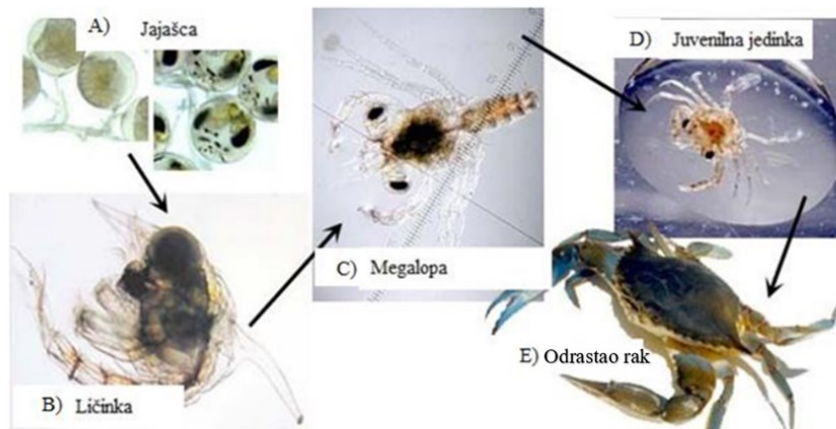


Slika 5. Faze reprodukcije: (A) udvaranje mužjaka, (B) predkopulacijska zaštita ženki, (C) završno presvlačenje ženke (eng. *pubertal molt*), (D) kopulacija, (E) postkopulacijska zaštita ženki (raspoloživo na poveznici <https://tinyurl.com/24tcwr6s>).

Plavi rak živi u prosjeku tri do četiri godine. Dostiže spolnu zrelost za 12 - 18 mjeseci. Razmnožavanje se odvija od svibnja do listopada nakon završnog presvlačenja ženke. Do oplodnje ne dolazi odmah, već za dva do devet mjeseci od parenja ili duže. Oociti unutar jajnika su nediferencirani u vrijeme kopulacije, a spermatofori su pohranjeni u spermatekama tijekom višemjesečnog procesa sazrijevanja jajašaca prije nego što se na kraju oplode. Tek oplodena jajašca se zatim istiskuju iz spermateka kroz vaginalne kanale i genitalne pore na ventralnu površinu, gdje su pričvršćeni na trbušne privjeske (pleopode) i tamo ostaju smješteni do izvaljivanja. Inkubacija jajašaca traje 14 - 17 dana. Energetski zahtjevni procesi presvlačenja i razmnožavanja su u međusobnom antagonizmu (Zmora i sur., 2009). Parenje se uglavnom događa u oligohalnim i mezohalnim područjima

estuarija, a prati ga migracija ženki iz laguna u otvoreno more, gdje se jaja izvaljuju u hiperhalinom mediju, minimalno godinu dana od kopulacije (Kennedy i Cronin, 2007). Ženka se prije izbacivanja jajašaca kreće prema moru za vrijeme oseke, zbog potrebe ličinki za većim salinitetom. Izvaljivanje kod plavih rakova događa se kao kratki, sinkroni događaj, gdje se sva jaja u leglu ženke puštaju u rano jutro za vrijeme plime (Epifanio, 2019). Sinkroni aspekt oslobađanja ličinki je kontroliran izmjenom plime i oseke, a olakšava ga kemijska komunikacija između ženki i ličinki. Izvaljivanje uključuje početni unos vode u jaja, koja kida vanjsku embrionalnu ovojnicu i oslobađa feromone koji izazivaju simultano ponašanje u izvaljivanju unutar određenog legla za vrijeme plime. Ličinke ostaju suspendirane u vodenom stupcu 18 - 24 sata nakon čega slijedi spuštanje prema dnu (López-Duarte i Tankersley, 2007). Ličinke se kroz stupac mogu kretati brzinom 0,5 – 2,0 cm/s. Kreću se pomoću malog segmentiranog repića koji će se u odraslih jedinki formirati u apron. Razvoj plavog raka uključuje sedam stadija ličinke (zoea), stadij megalope te stadij juvenilne jedinke, nakon koje slijedi adultna faza (Slika 6.). Zoealni razvoj traje tri do četiri tjedna pod optimalnim uvjetima. Stadij megalope ima već dobro razvijene pleopode pomoću kojih putuje nazad do estuarija tijekom noći, za vrijeme plime brzinom od 5,0 cm/s. Megalopa se od ličinke osim po korištenju pleopoda umjesto maksilipeda i repića, razlikuje još i po pokretljivim očima i nedostatku lateralnih bodlji na oklopu (Hay, 1905). Vertikalna migracija je posredovana reakcijama na promjene saliniteta i turbiditeta. Kemijski podražaji povezani s odgovarajućim staništem potiču metamorfozu megalopa, nakon dolaska u estuarij. Nakon metamorfoze jedinke su širine nekoliko milimetara i ostaju u tom staništu nekoliko mjeseci dok ne dosegnu širinu 20 - 30 mm. Česta i važna rastilišta su im livade morskih cvjetnica i zajednice makroalgi. Izbjegavaju odrasle plave rakove tijekom ove životne faze zbog velike tendencije prema kanibalizmu. Detritusni lanac prehrane je najvažniji za juvenilni stadij. Tako juvenilne jedinke plavog raka prelaze s planktonske ishrane u hranidbeni lanac temeljen na detritusu nakon naseljavanja u estuariju. Adultne jedinke drže se zajedno na nešto otvorenijem dnu (Dittel i sur., 2000).



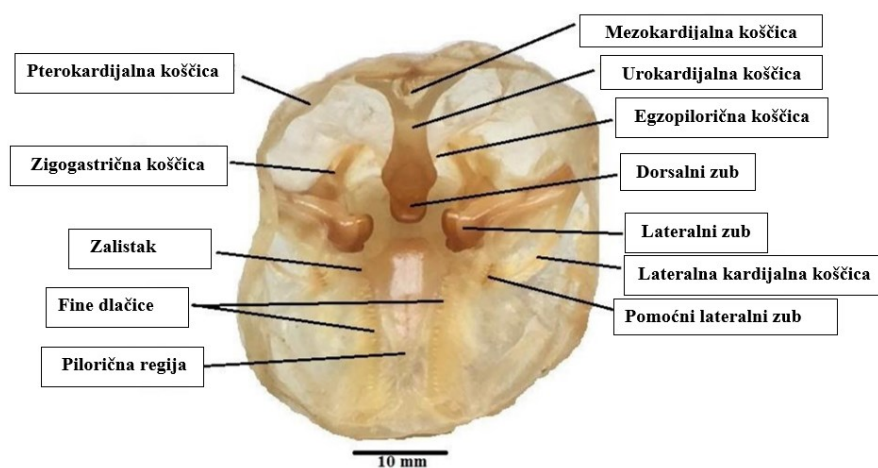


Slika 6. Faze životnog ciklusa plavog raka (raspoloživo na poveznici <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:155:990130>).

### 1.2.3. Struktura probavnog sustava

Rakovi iz porodice plivajućih rakova (Portunidae) su primarno oportunistički omnivori s preferencijom za strvinarstvo i predatorstvo. Budući spadaju u bentosku zajednicu, nerijetko se u sastavu želudca nalazi i sediment. Mantelatto i Fransozo još su 1999. godine pretpostavili kako rakovi koriste kalcificirani sediment kao materijal u izgradnji novog egzoskeleta pri presvlačenju (Mantelatto i Fransozo, 1999). Probavni sustav im je vrlo složen. Kreće od usta u koja maksilipedima prinose hranu za usitnjavanje. Usta su ojačana tvrdim labrumom. Pomoću maksila, mandibule i maksilipeda usitnjava se krupnija hrana i sprječava ispadanje sitnijih dijelova. Crijevo se u dekapodnih rakova dijeli na prednje, srednje i stražnje. Progutana hrana jednako putuje do želudca gdje se odvija završna fragmentacija hrane. Prednje crijevo se sastoji od jednjaka i velike vrećaste strukture gdje se nalaze žvačni dijelovi. Srednje crijevo nema hitin, ali se u njemu luče probavni enzimi poput tripsina, karboksipeptidaze, aminopeptidaze, amilaze, maltaze i hitinaze (Abol-Munafi i sur., 2017). Stražnje crijevo je gotovo ravno i u njemu je prisutan hitin. Prošireno je posteriorno u rektum i završava anusom. Cijeli probavni sustav pročišćen je od hrane nakon 18 sati (Manfrin i sur., 2015). Cochran (1935) naglašava kako plavi rakovi nemaju klasični želudac i kako je to pogrešan naziv. Opisuje ga kao prošireni dio probavnog kanala neposredno nakon jednjaka, iako se popularno naziva

želudac, dio je stomodaeuma člankonošaca odnosno usne jamice. Sastoji se od zadebljanih membranskih zidova koji su na dijelovima kalcificirani i nazubljeni, zbog toga se naziva želučani mlin (eng. *gastric mill*). Najsloženije želudce u redu Decapoda imaju kratkorepi rakovi (Brachyura) i Anomura. Želudac im se zbog nazubljene strukture opisuje kao „kandža sa tri ogranka” (eng. *three – branched claw*) koji se sastoji od sedam šiljastih koščica. Strukturu formiraju par lateralnih zubića, dorzalno smješteni medijalni zubi te potporne koščice. Želudac se dijeli na veliku, anteriorno smještenu kardijalnu regiju te malu, posteriornu piloričnu regiju. Kardijalna regija je velika, sferična, vrećasta struktura s dorzalnim, lateralnim i postero-lateralnim zubima. Hrana se melje pomoću sedam tipova zubića, imenovanih ovisno o položaju i građi. Tu spadaju po jedna propilorična, urokardijalna, mezokardijalna koščica te po jedan par pterokardijalnih, zigogastričnih, egzopiloričnih te lateralno kardijalnih zubića (Slika 7.). Nisu zamijećene razlike u građi želudca između mužjaka i ženke. Lateralni zubi imaju izraženija nazubljenja, dok dorzalni zub ima kukaste krajeve koji pridržavaju hranu prilikom fragmentacije. Mehanizam žvakanja se temelji na kontrakciji i relaksaciji mišića želudca. Time se hrana pomiče gore - dolje te se struže o nazubljene membrane želudca. Nakon kardijalne regije slijedi pilorična, koja je odvojena zaliscima te je puno uža. Opremljena je s četiri reda finih dlačica za sortiranje hrane. Neprobavljena hrana izbacuje se kroz stražnje crijevo. Sadržaj i količina hrane unutar iste vrste varira ovisno o reproduktivnom ciklusu, sezoni i okolišu (Ceccaldi, 1989; Rady i sur., 2018).



Slika 7. Želudac i želučani mlin (eng. *gastric mill*)  
(raspoloživo na poveznici <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91449035> ).

### 1.3. Cilj rada

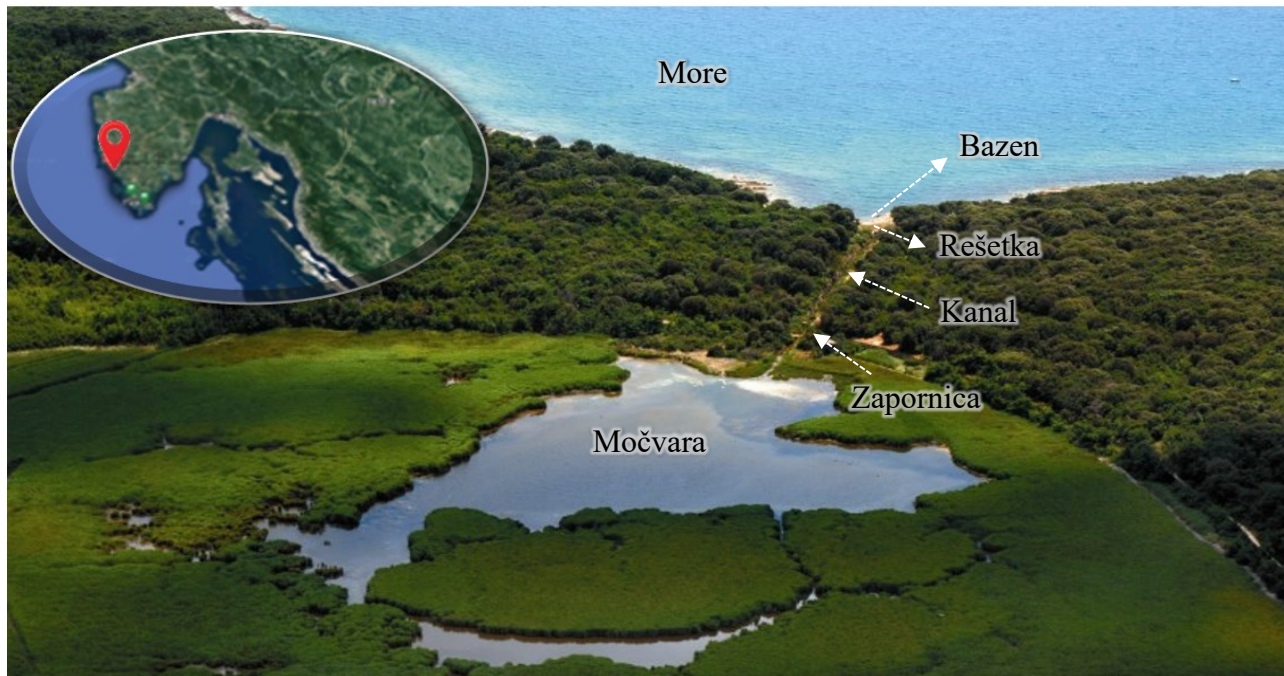
Kako bi se na području ornitološkog rezervata utvrdile biološko - ekološke značajke plavog raka (*C. sapidus*) analizirane su jedinke prikupljene vršama i ručno od svibnja do listopada 2022. godine. Plavi rak je eurivalentan, povezuje više trofičkih razina, izrazito invazivan i može imati veliki utjecaj na prostor koji invadira. Poznavanje životnog ciklusa važno je za pravilan monitoring, a informacije o njegovoj prehrani u rezervatu doprinijet će procjeni njegova utjecaja na stanište budući će se po prvi put na području Istre utvrditi njegove prehrambene značajke. Ciljevi rada su sljedeći:

1. Utvrditi brojnost, omjer spolova i sezonsku dinamiku pojavljivanja plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù u 2022. godini,
2. Odrediti kondiciono stanje i procijeniti zdravstveni status po sezonama,
3. Procijeniti reproduktivni status plavog raka u Palud – Palù u 2022. godini te
4. Analizirati intenzitet prehrane plavog raka po sezonama i utvrditi sastav plijena kojim se hrani u ornitološkom rezervatu.

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Područje istraživanja

Palud – Palù je posebni ornitološki rezervat proglašen 2001. godine te predstavlja jedino takvo zaštićeno područje u Istarskoj županiji. Ova prirodna depresija obuhvaća oko 18 ha. Smještena je osam kilometara jugoistočno od grada Rovinja. U močvaru se formirala zbog pritjecanja vode s okolnih brda i zaravni te iz izvora na sjevernoj strani. Kako bi se spriječilo širenje malarije, 1806. godine je prokopan kanal dug 200 m koji spaja more i močvaru. Palud – Palù karakterizira velika bioraznolikost i velik broj ptičjih vrsta koje tamo stalno ili povremeno obitavaju. Ornitološki rezervat Palud – Palù u širem smislu sastoji se od unutrašnjeg dijela ili močvare koja obuhvaća najveći dio rezervata i od kojega se pruža kanal prema moru. Područje uzorkovanja je podijeljeno na močvaru, zapornicu, rešetku, bazen i more (Slika 8.). Na udaljenosti od otprilike 30 metara od močvare prema moru nalazi se „zapornica”, stepeničasto betoniran prijelaz u kanal čija je osnovna funkcija reguliranje protoka vode prema močvari stoga predstavlja svojevrstu branu. Nakon zapornice proteže se kanal koji na svom putu prema moru završava rešetkastom strukturom, konstruiranom za sprječavanje prodora krupnijeg materijala iz mora ili močvare te kako bi se optimizirao protok vode. Iza rešetke nalazi se betonirani tunel od nekoliko metara koji je zavijen blago ulijevo i pred morem se otvara u bazen od nekoliko m<sup>2</sup>. Komunikacija bazena s morem obavlja se djelovanjem valova i/ili morskih mijena kroz intersticijalne kanale smještene između velikih kamenih blokova (Gavrilović i sur., 2021).



Slika 8. Poseban ornitološki rezervat Palud – Palù (raspoloživo na poveznici <https://tinyurl.com/2ckqukff>).

## 2.2. Prikupljanje i obrada jedinki plavog raka

### 2.2.1. Prikupljanje uzoraka

Jedinke plavih rakova prikupljane su vršama i ručno od strane djelatnika Javne ustanove Natura Histrica od svibnja do listopada 2022. godine tijekom dana. Uzorci su prikupljeni jednom tjedno, ovisno o vremenskim prilikama. Rakovi su odvajani po nekoliko jedinki u zasebne spremnike (frižider torbe od 18 litara) kako bi se spriječili lomovi tjelesnih nastavaka. U svaki spremnik ubacile su se ledenice kako bi se smanjila temperatura rakova, a sve u cilju smanjenja njihove metaboličke aktivnosti, odnosno daljnje razgradnje hrane u želudcu. Rakovi su također odvajani i imenovani obzirom na mjesec u kojem su ulovljeni kako bi se mogla pratiti promjena kondicionog stanja kroz sezone. Tako svibanj i lipanj kalendarski spadaju u proljeće, srpanj, kolovoz i rujna su ljeta, a listopad je u jesen. Za svaku terensku aktivnost bilježili su se; broj ulovljenih rakova, vrijednosti abiotičkih parametara morske vode (temperatura, salinitet i pH), vremenske prilike, tlak zraka i morske mijene. Fizikalno-kemijski parametri vode dobiveni su pomoću multiparametarske

sonde (Pioneer, Hanna Instruments). Svi podaci unijeti su u program *Microsoft Office Excel, 2019*.

### **2.2.2. Laboratorijska obrada jedinki**

Prikupljene jedinke plavih rakova dopremljene su u laboratorij Fakulteta prirodnih znanosti u Puli gdje su zamrznute na – 20 °C. Nakon odmrzavanja i brojanja, svakoj jedinki određen je spol, masa (W) u gramima pomoću vage Steinberg Systems s preciznošću 0.1 g te širina glavopršnjaka (CL) u cm pomoću digitalnog kalipera tipa Digimax. Nakon toga, pomoću kirurških škara pažljivo je odstranjen dorzalni dio glavopršnjaka pri čemu se vodilo računa da se izbjegne prodor u mekani dio visceralnog tkiva. Nakon ekscizije dorzalnog dijela oklopa glavopršnjaka, pomoću pinceta je ekstrahirano tkivo hepatopankreasa i gonada koji su smješteni na upijajući papir (filter) te izvagani. Potom su uklonjeni mandibularni mišići i pažljivo je odstranjen želudac čiji je sadržaj izvađen, izvagan kao mokra masa i fiksiran u 96 % etanolu u plastične epruvete od 14 ml. Svi podaci unijeti su u program *Microsoft Office Excel, 2019*.

### **2.3. Fultonov indeks kondicije (FI %)**

Fultonov ili kubični faktor kondicije (FI %) izražava masu raka u kubiku njegove dužine. Vrijednost indeksa kondicije proizlazi iz dužinsko – masenog odnosa ( $W = a \cdot L^b$ ), odnosno predstavlja koeficijent a umnožen za 100, uz pretpostavku da je koeficijent b = 3. Izražava se pomoću kubičnog ili Fultonovog koeficijenta (Ricker, 1975) prema formuli:

$$FI \% = 100 W CL^{-3}$$

gdje su:

FI % – vrijednost indeksa kondicije

W – masa plavog raka u g,

CL - širina glavopršnjaka u cm.

## 2.4. Hepatosomatski indeks (HSI %)

Hepatopankreas je glavni organ za skladištenje energije, koji služi kao primarno mjesto skladištenja lipida (dugoročne zalihe energije) kao i jedno od nekoliko mjesta skladištenja glikogena. Stoga se udio hepatopankreasa u ukupnoj masi tijela koristi kao pokazatelj kondicije. U ovom radu hepatosomatski indeks izračunat je prema Morado i sur., 2017:

$$\text{HSI \%} = \frac{\text{masa hepatopankreasa (g)}}{\text{masa plavog raka (g)}} \times 100$$

## 2.5. Gonadosomatski indeks (GSI %)

Za procjenu reproduktivnog ciklusa određen je gonadosomatski indeks (GSI %) prema Flores i sur., 2015:

$$\text{GSI \%} = \frac{\text{masa gonada (g)}}{\text{masa plavog raka (g)}} \times 100$$

## 2.6. Analiza sadržaja probavila plavog raka

### 2.6.1. Intenzitet prehrane

Nastavno na Rady i sur. (2018), sadržaj svakog želudca u kojemu je utvrđena hrana je volumno podijeljen na pet kategorija (od 1 do 5) potpunosti, dok kategorija 0 predstavlja prazan želudac. Metoda korištena u ovom radu je subjektivna, ali prilično jasno i slikovito ukazuje na prehrambene navike plavog raka. Kategorija 0 predstavlja prazan želudac. Kategorija 1 predstavlja plave rakove koji imaju <5 % sadržaja unutar želudca, kategorija 2 predstavlja popunjenost želudca 5 % - 35 %. Kategorija 3 je polovična ispunjenost s 35 % - 65 %, kategorija 4 predstavlja udio hrane 65 % - 90 % te kategorija 5 je popunjenost 90 % - 100 % što predstavlja pun želudac.

### 2.6.2. Sastav prehrane

Sadržaj je od želudca odvajan pomoću pincete i laboratorijske špatule i odložen u epruветama u frižider na 3°C. Potom je analiziran pod lupom tipa Leica pod različitim stupnjevima povećanja (od dva do deset puta), a svojte plijena determinirane su pomoću odgovarajućih ključeva do najniže moguće taksonomske kategorije te prikazane s relativnom frekvencijom učestalosti pojavljivanja (Ropes, 1968). Relativna frekvencija učestalosti pojavljivanja računata je prema Benšić i Šuvak, 2013:

$$F \% = \frac{f_i}{n} \times 100$$

gdje su:

F % - relativna frekvencija učestalosti pojavljivanja

$f_i$  – frekvencija pojedine svojte

$n$  – veličina uzorka

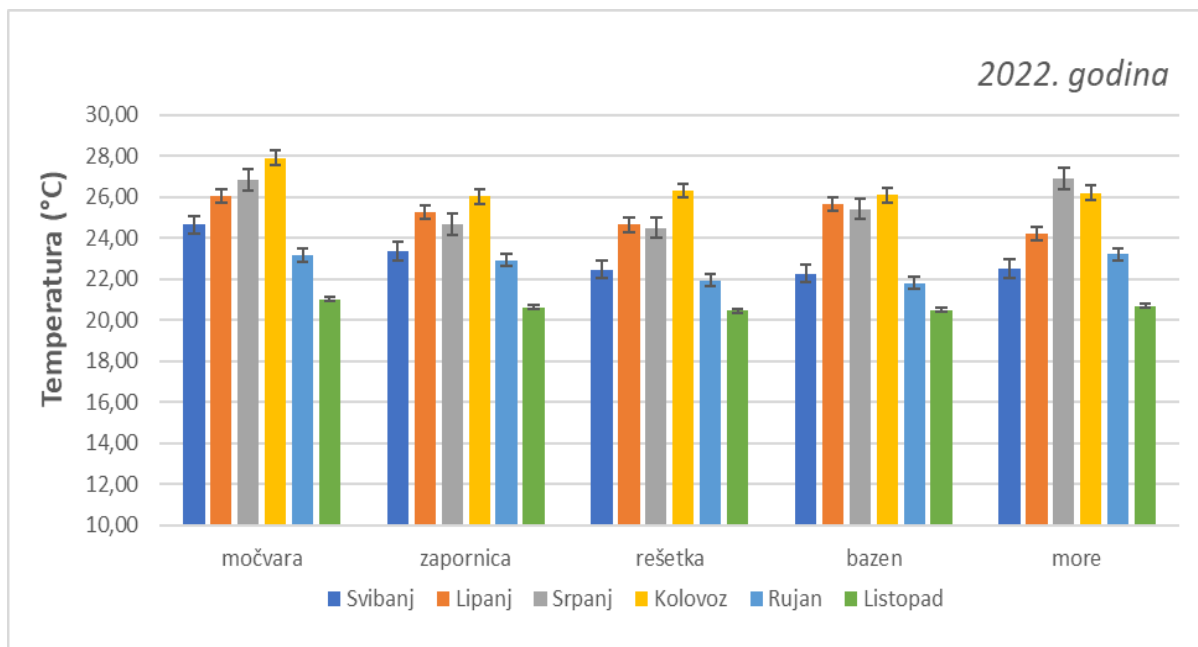
Mekušci su determinirani po fragmentima ljuštura, kukci po tjelesnim nastavcima, složenom oku i antenama. Za determinaciju rakova oslanjalo se na ljušturu oklopa, a u identifikaciji riba su poslužile kosti, škrge i perajne žbice (Riedl, 2015; Horton i sur., 2021).



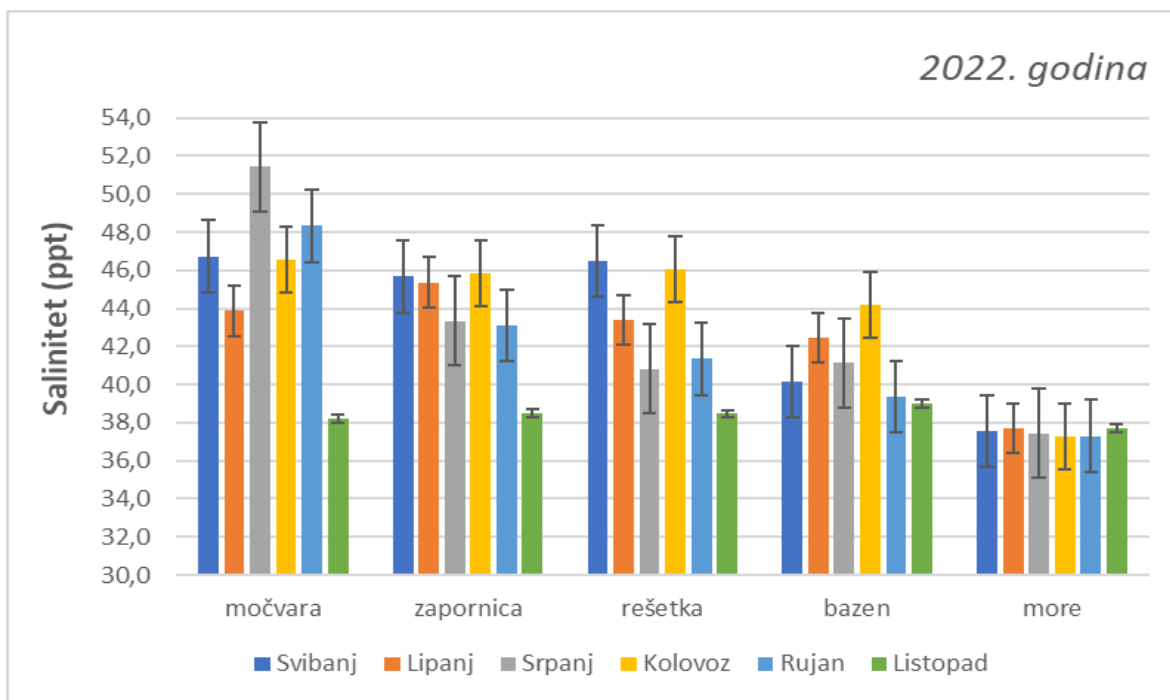
## 3. REZULTATI

### 3.1. Abiotički faktori po sezonama

Vrijednosti abiotičkih faktora bilježile su se na različitim lokacijama u sklopu kompleksa ornitološkog rezervata Palud – Palù. Srednja vrijednost temperature močvare od svibnja do listopada iznosila je  $24,94 \pm 2,32$  °C, u zapornici je ta vrijednost bila  $23,81 \pm 1,77$  °C, na području rešetke  $23,38 \pm 1,95$  °C, u bazenu je temperatura unutar tog perioda iznosila  $23,62 \pm 2,17$  °C, a u moru  $23,93 \pm 2,12$  °C. Najveće vrijednosti temperature su bile u srpnju i kolovozu. Na Slici 9. prikazane su srednje vrijednosti temperature po mjesecima, unutar područja uzorkovanja. U moru je srednja vrijednost pH standardno iznosila  $8,19 \pm 0,01$ . Močvara je imala nešto nižu srednju vrijednost pH s  $8,02 \pm 0,18$ . Zabilježen je značajniji gradijent saliniteta između mora i močvare. Jedino je u listopadu salinitet bio približno jednak u moru i močvari, dok je u svibnju i srpnju salinitet značajno veći u močvari te opada prema moru (Slika 10.). Najveći salinitet u močvari je bio u srpnju (51,4), a najmanji u listopadu (38,2). U moru nije bilo većih oscilacija te je srednja vrijednost saliniteta iznosila  $37,3 - 37,7 \pm 0,18$  među mjesecima. Zbog razlike u gustoći, morska voda ulazi iznad slanije močvarne vode.



Slika 9. Temperatura unutar područja uzorkovanja u ornitološkom rezervatu Palud – Palù, po mjesecima.

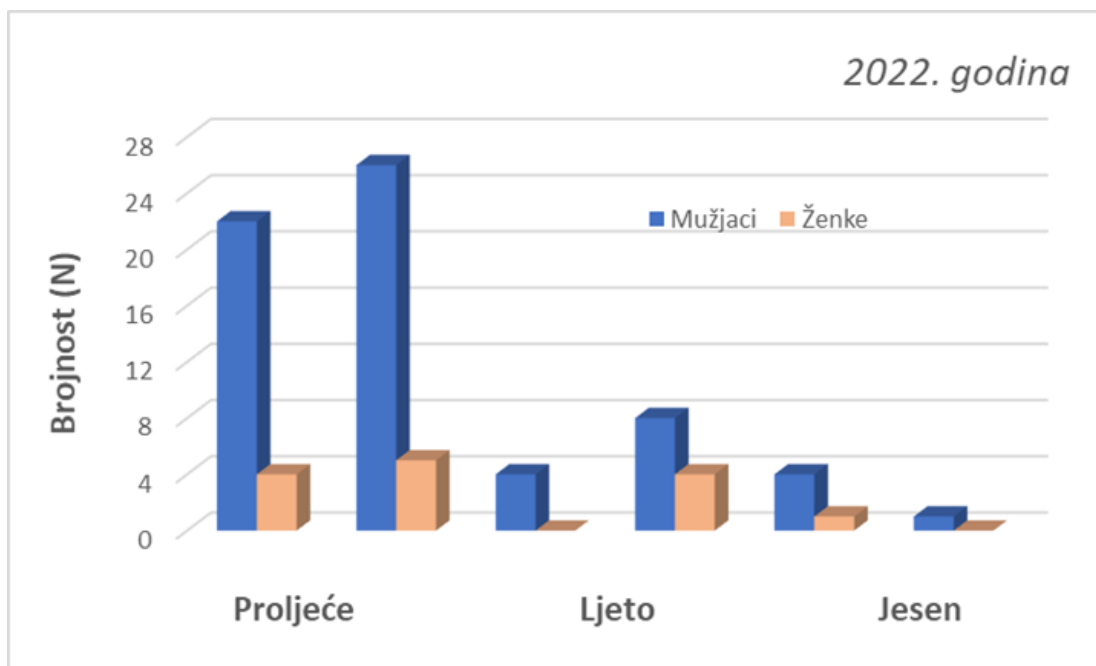


Slika 10. Salinitet unutar područja uzorkovanja u ornitološkom rezervatu Palud – Palù, po mjesecima.

## 3.2. Struktura populacije

### 3.2.1. Omjer spolova

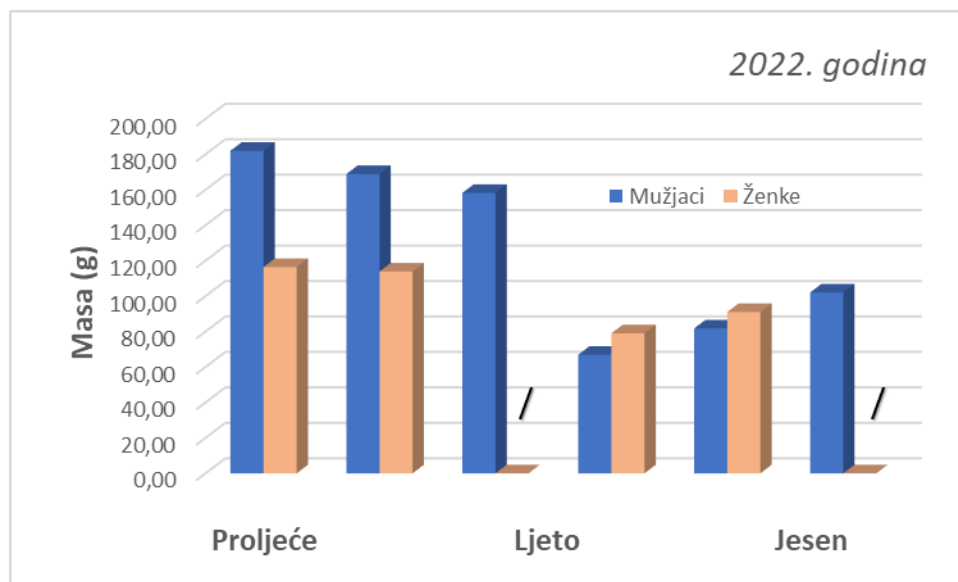
Od ukupno 79 prikupljenih jedinki bilo je 65 (82 %) mužjaka te 14 (18 %) ženki. Najviše jedinki (39 %) je prikupljeno u lipnju. U srpnju i listopadu ženske jedinke nisu bile utvrđene (Slika 11). Srednje vrijednosti širine glavopršnjaka (CL) kod mužjaka kretale su se od 9,01 do 13,20 cm, a kod ženki od 10,60 do 12,48 (Tablica 1.). Masa oba spola bila je najveća u proljeće, u svibnju. Mužjaci su u prosjeku tada težili  $181,94 \pm 29,83$  g, dok je prosječna ženka u svibnju težila  $116,38 \pm 28,15$  g. Raspon mase prikupljenih mužjaka iznosio je 34 g – 246 g. Raspon mase ženki bio je 38,9 g – 186,5 g. U svibnju i lipnju mužjaci su imali veću masu od ženki, u srpnju i listopadu nije bilo ženki za usporedbu, dok su u kolovozu i rujnu ženke imale veću masu od mužjaka (Slika 12.).



Slika 11. Broj mužjaka i ženki plavog raka ulovljenih u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

Tablica 1. Srednje vrijednosti i standardna devijacija širine glavopršnjaka (CL) u centimetrima kod mužjaka (M) i ženki (Ž) po mjesecima.

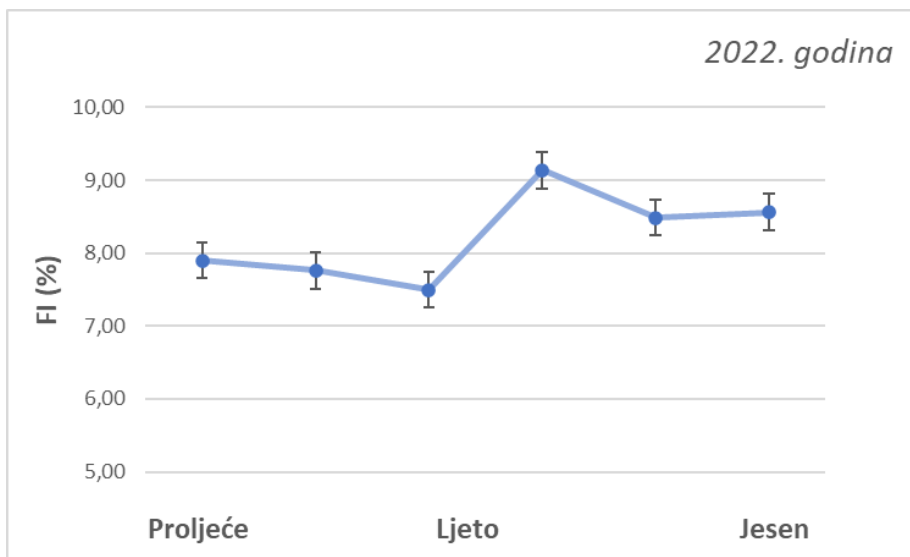
Mjesec	C L	
	M	Ž
	SV ± STDEV	SV ± STDEV
<b>Svibanj</b>	13,20 ± 0,91	12,48 ± 1,47
<b>Lipanj</b>	12,96 ± 0,94	12,02 ± 2,28
<b>Srpanj</b>	12,83 ± 1,10	/
<b>Kolovoz</b>	9,01 ± 1,55	10,48 ± 2,11
<b>Rujan</b>	9,88 ± 0,98	10,6
<b>Listopad</b>	10,60	/



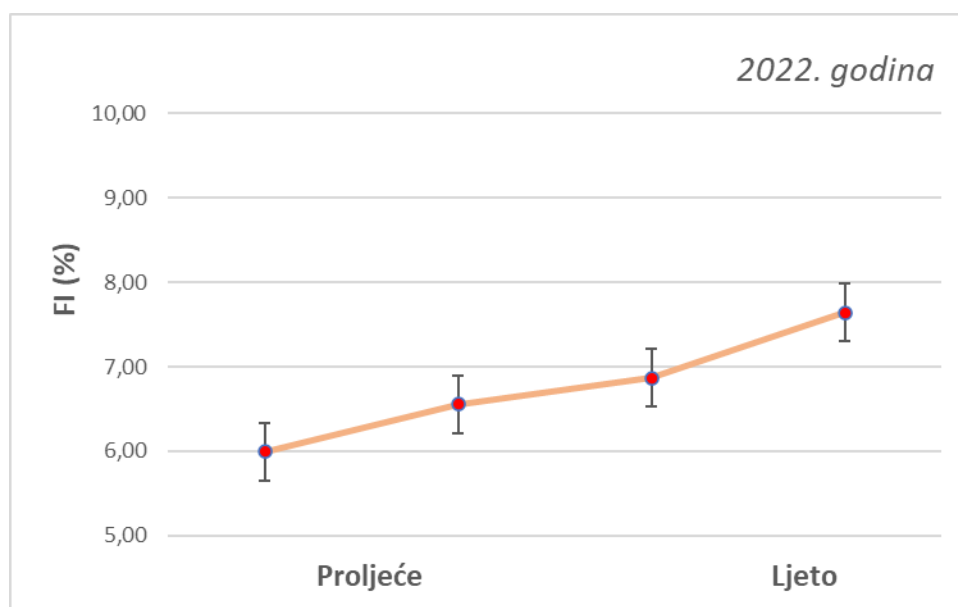
Slika 12. Vrijednost prosječne mase mužjaka i ženki plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

### 3.2.2. Fultonov indeks (FI %)

Unatoč najmanjoj masi i širini glavopršnjaka, Fultonov je indeks kod mužjaka bio najveći ljeti u kolovozu (9,14). Ženke su najveći indeks kondicije imale krajem ljeta u rujnu (7,64) s trendom pozitivnog rasta. Budući nije bilo ulovljenih ženki u srpnju prikazani su svibanj, lipanj, kolovoz i rujna po sezonama. Na Slikama 13. i 14. prikazane su srednje vrijednosti Fultonovog indeksa kondicije za mužjake i ženke plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù.



Slika 13. Vrijednosti FI % za mužjake plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù po sezonama.

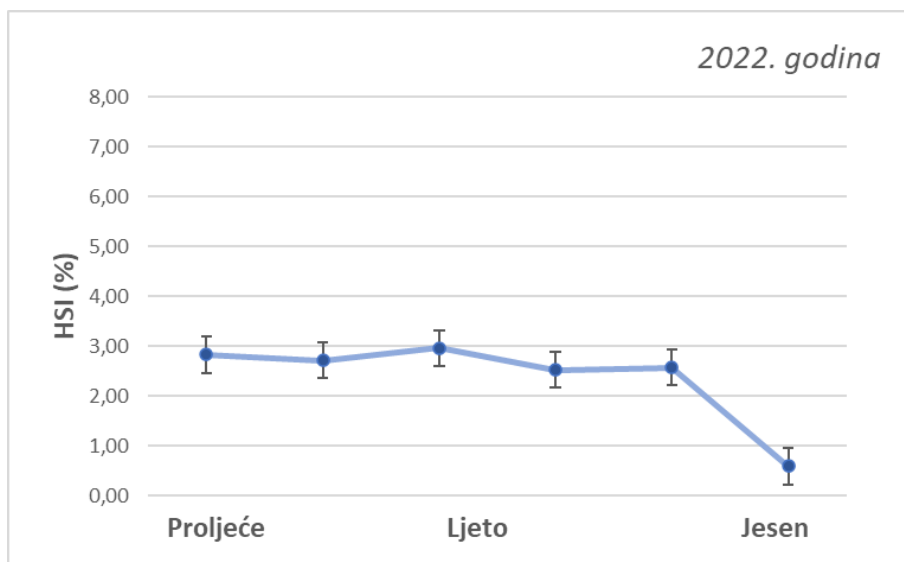


Slika 14. Vrijednosti FI % za ženke plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù po sezonama.

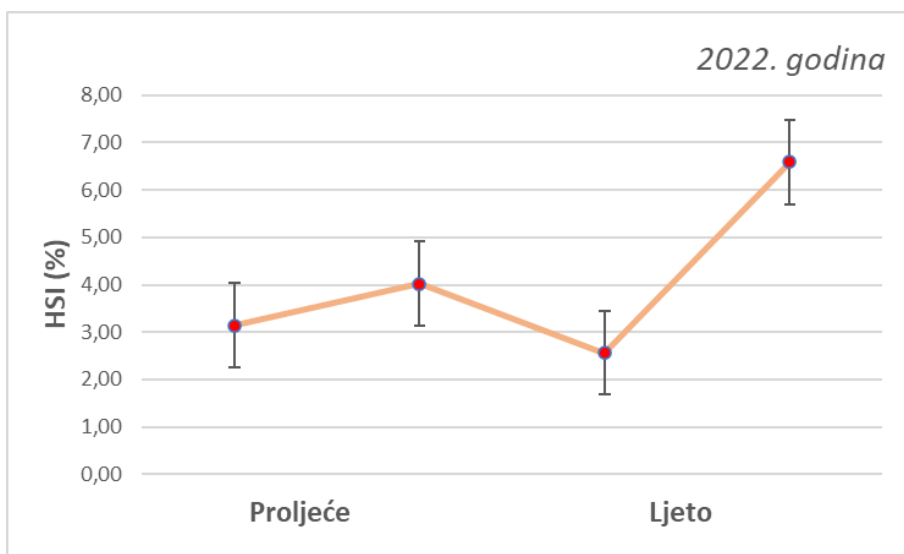
### 3.2.3. Hepatosomatski indeks (HSI %)

Najveći HSI % kao srednja vrijednost oba spola bio je izmjeren u rujnu (3,44). Kod mužjaka je bio relativno konstantan tijekom proljeća i ljeta. Najveću vrijednost imao je ljeti, u srpnju (2,96) te najmanju u listopadu (0,59). Ženkama je HSI % imao najveću vrijednost ljeti, u rujnu (6,59), a malu vrijednost u svibnju i kolovozu (3,14 i 2,56). Budući

nije bilo ulovljenih ženki u srpnju prikazani su svibanj, lipanj, kolovoz i rujan po sezonama. Na Slikama 15. i 16. prikazane su srednje vrijednosti HSI % za mužjake i ženke plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù.



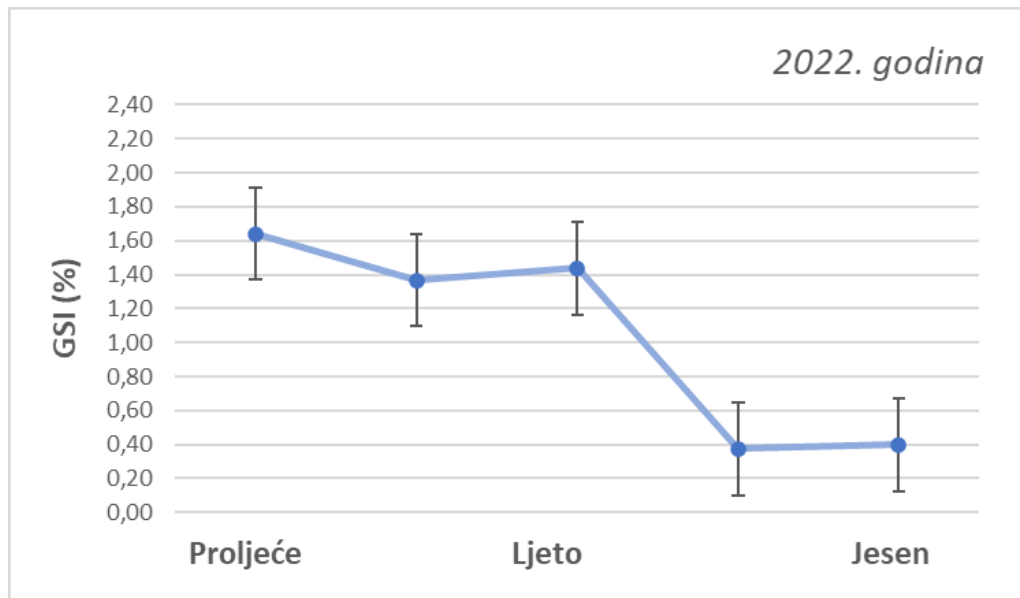
Slika 15. Vrijednosti hepatosomatskog indeksa (HSI %) kod mužjaka plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.



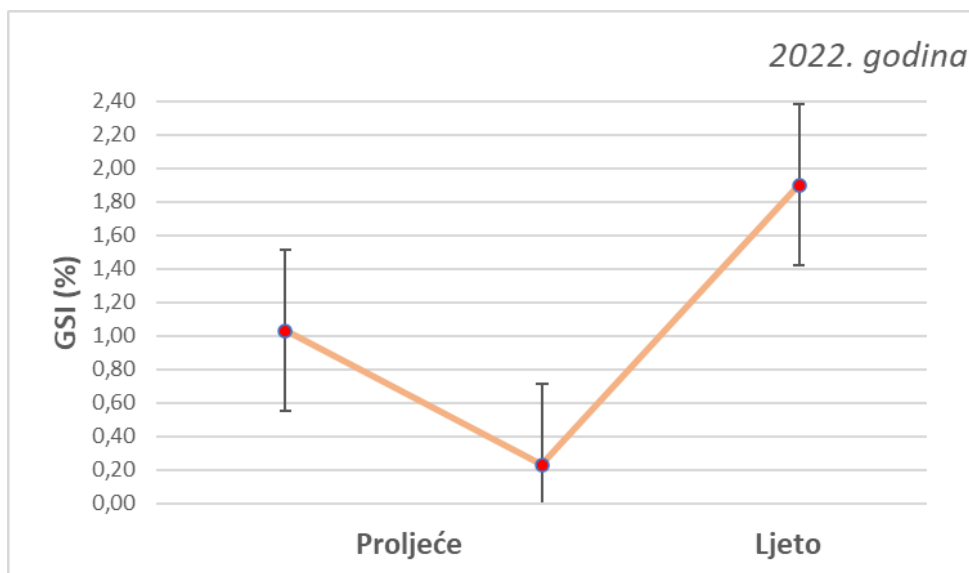
Slika 16. Vrijednosti hepatosomatskog indeksa (HSI %) kod ženki plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

### 3.2.4. Gonadosomatski indeks (GSI %)

Broj spolno nezrelih jedinki, odnosno mužjaka i ženki kojima masa gonada iznosi 0,0 g razlikovao se po sezoni. Ukupno 17 (21,5 %) ulovljenih jedinki nije bilo spolno zrelo. Najviše ih je bilo u kolovozu (šest mužjaka i dvije ženke). Srednja vrijednost mase gonada mužjaka bila je najveća u proljeće (2,99 g), odnosno u vrijeme mrijesta nakon čega se smanjuje. Ženkama je također opadala masa gonada nakon mrijesta u proljeće, međutim pojavio se pik s masom gonada ženki od 1,5 g ljeti u kolovozu. Srednja vrijednost GSI % za oba spola bila je najveća u svibnju (1,61). U mužjaka je srednja vrijednost GSI % bila najveća u proljeće u svibnju (1,64) te najmanja ljeti u kolovozu (0,37) (Slika 17.). Ženke su imale najveći GSI % u svibnju (1,03) te kolovozu (2,54). U srpnju i listopadu nije bilo ulovljenih ženki, a u rujnu nisu bile prikupljene spolno zrele ženke, stoga su prikazani svibanj, lipanj i kolovoz (Slika 18.).



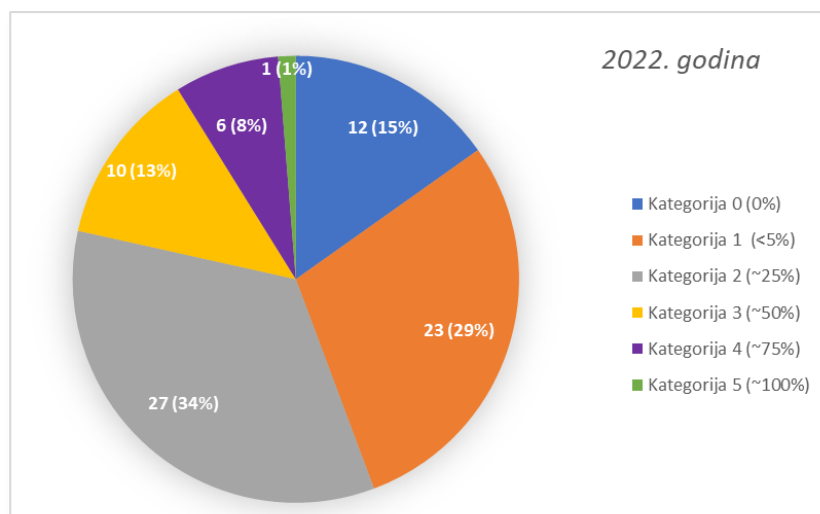
Slika 17. Vrijednosti gonadosomatskog indeksa (GSI %) kod mužjaka plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.



Slika 18. Vrijednosti gonadosomatskog indeksa (GSI %) kod ženki plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

### 3.3. Sadržaj i popunjenost probavila plavog raka

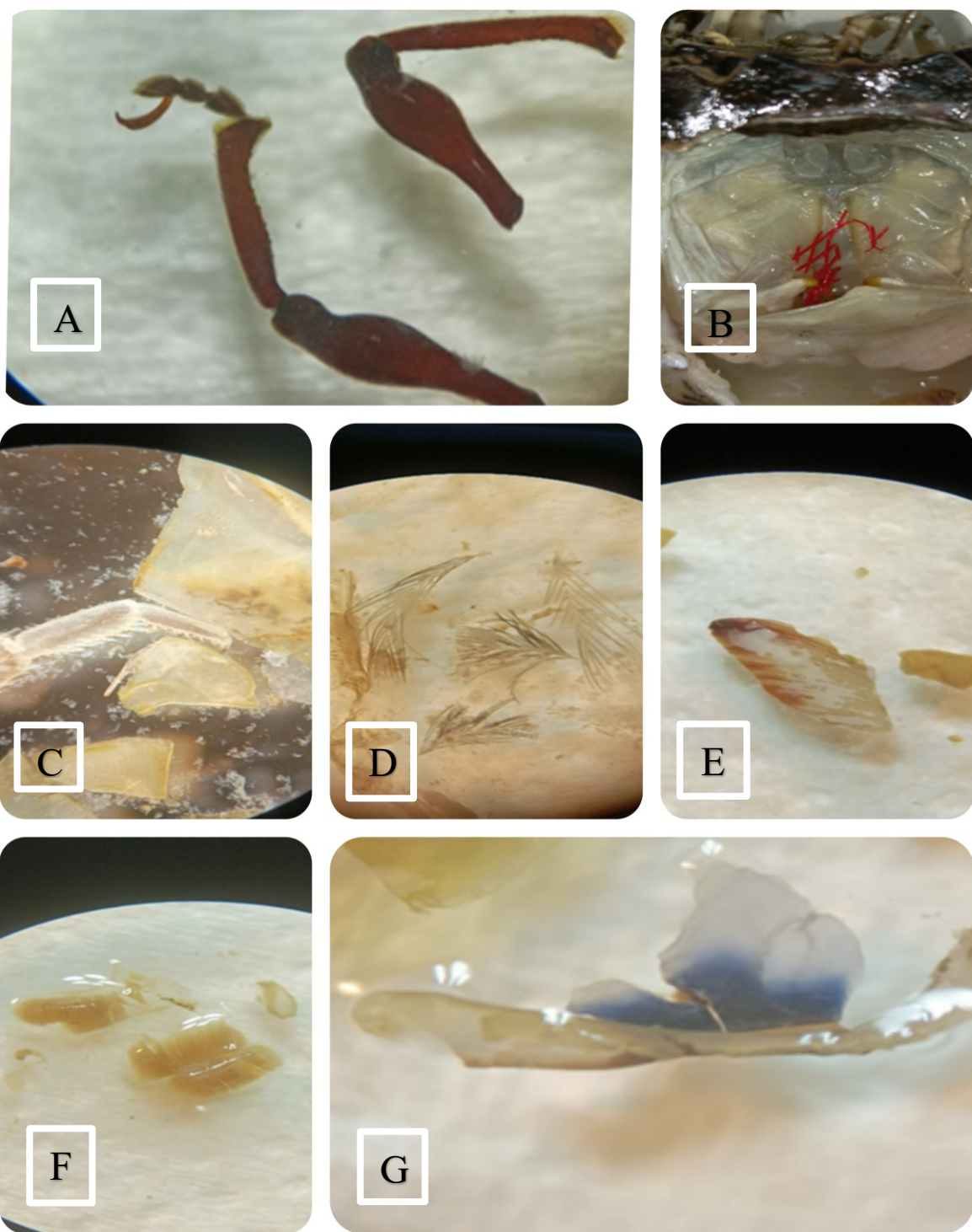
Od sveukupno 79 plavih rakova, 12 jedinki (15 %) imalo je prazan želudac te su prema Rady i sur. (2018) svrstani u kategoriju 0. Najviše jedinki pripalo je kategoriji 2, a jedna jedinka je uvrštena u kategoriju 5 (Slika 19.) s obzirom na ispunjenost želudca hranom.



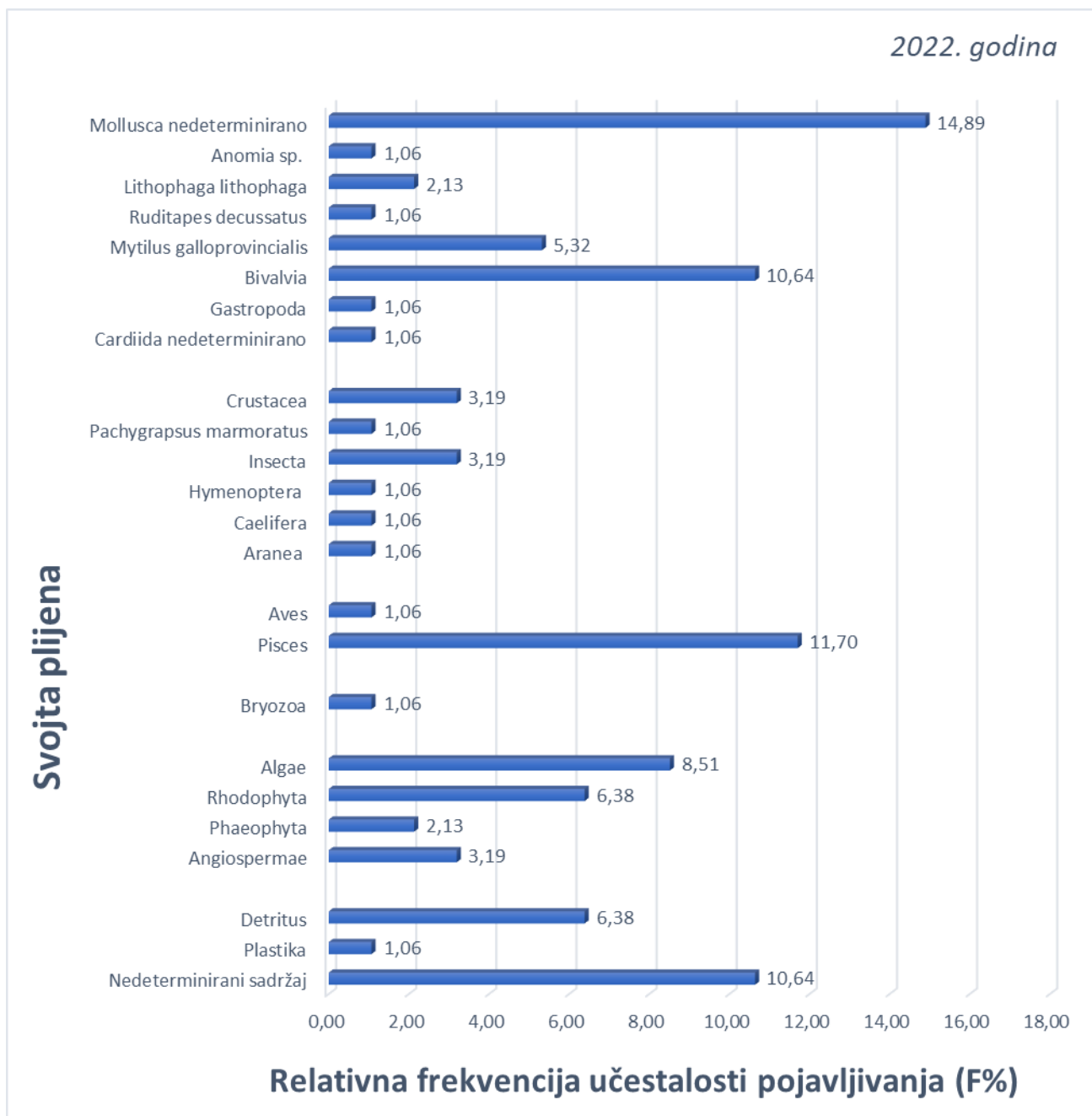
Slika 19. Sadržaj želudca raspoređen unutar pet kategorija popunjenosti u ornitološkom rezervatu Palud – Palù, s prikazom broja jedinki i postotnom vrijednošću.



U obrađenim uzorcima, uz detritus detektirane su i 22 svoje plijena. Sadržaj želudca sačinjavali su ponajviše mekušci, ribe i rakovi. Na Slici 20. prikazane su pojedine svoje plijena fotografirane pod lupom na povećanju od dva do deset puta. Od svih zabilježenih prehrambenih skupina najveća vrijednost frekvencije učestalosti pojavljivanja (F %) odnosila se na mekušce koje nije bilo moguće determinirati te je iznosila 14,89 %. Iza toga su slijedili nedeterminirani školjkaši (10,64 %) te školjkaš *Mytilus galloprovincialis* (5,32 %). Od ostalih školjkaša bilo je utvrđeno prisustvo strogo zaštićenog prstaca (*Lithophaga lithophaga*) (2,13 %). Općenito, u prehrani plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù prema vrijednostima F % dominirali su mekušci (37,22 %). Iza mekušaca, skupina koja je pokazala visoke vrijednosti F % bile su ribe (11,7 %). Rakovi, kukci te morske cvjetnice imali su jednaku vrijednost F % te je iznosila 3,19 %. Autotrofni organizmi imali su sveukupnu vrijednost F % od 20,21 %, od čega se veći dio odnosi na alge (17,02 %). Od kralježnjaka (Vertebrata) pronađeni su dijelovi pokrovnog sustava ptica (perje) i ribe. Zbog uznapredovale faze razgradnje, u želudcu nije bilo moguće identificirati dio sadržaja, međutim njegova je frakcija imala značajnu vrijednost F % (10,64 %). Detritus je imao nešto manju F % vrijednost (6,38 %). Na Slici 21. prikazane su vrijednosti frekvencije učestalosti pojavljivanja (F %) svojti plijena koje su determinirane u želudcima plavih rakova u 2022. godini u ornitološkom rezervatu Palud – Palù. Posljedice antropogenog djelovanja vidljive su i na mjestima poput posebnih rezervata, što se može iščitati iz rezultata prisutnosti plastike u želudcu s F % od 1,06 %.



Slika 20. Sadržaj želudca; Insecta (A), Plastika (B), *Pachygrapsus marmoratus* (C), Aves (D), *Lithophaga lithophaga* (E), Pisces (F), Algae, *Mytilus galloprovincialis* (G).



Slika 21. Vrijednosti relativne frekvencije učestalosti pojavljivanja pojedine svojte plijena u želudcu plavih rakova iz ornitološkog rezervata Palud – Palù.

## 4. RASPRAVA

Zbog male površine, u močvari su puno veće temperaturne oscilacije. Ljeti su bile najviše temperature, što je posljedično uzrokovalo i veća isparavanja, a time i veće vrijednosti saliniteta. Salinitet u močvari imao je nešto manju vrijednost tek u listopadu (37,7) zbog učestalijih kiša. Najviše jedinki (31) je bilo prikupljeno u lipnju kao rezultat prisutnosti spolno zrelih mužjaka i ženki pred parenje. U srpnju i listopadu nije bilo prikupljenih ženki te razlog tome može biti mali broj jedinki prikupljen u tim mjesecima općenito. S druge strane, razlog odsutnosti ženki u tom razdoblju može biti i vjerojatno jest, njihova migracija u more kako bi izvalile jaja u hiperhalini medij. Iako do oplodnje dolazi za dva do devet mjeseci nakon parenja jer jajne stanice budu nediferencirane, (Zmora i sur., 2009) izvaljivanje se događa nakon minimalno jedne godine (Kennedy i Cronin, 2007) što bi bilo krajem ljeta ili početkom jeseni. Ta informacija ujedno se poklapa s literaturnim navodom (Carlino i sur., 2014). Uz to je salinitet u Palud – Palù bio niži u jesen što bi potaklo ženke na migraciju u more. Plavi rakovi sa širinom glavopršnjaka manjom od 9,4 cm se prema Mancinelli i sur. (2016) smatraju spolno nezrelim, što znači da im se još nikad nisu formirale gonade. Kennedy i Cronin (2007) naglasili su kako spolno zreli mužjaci imaju širinu karapaksa minimalno 10 cm dok u ženki ono mora iznositi minimalno 11 cm. Analiza uzoraka je tu informaciju i potvrdila. Tako su prikupljene ženke s vrijednosti CL 11,0 cm koje nisu imale formirane gonade. Najveći spolno nezreli mužjak imao je CL 9,5 cm. Vrijednost mase oba spola opadala je od svibnja do kolovoza zbog resorpcije gonada nakon čega ponovno raste zbog učestalog hranjenja. Rezultat prati i FI % koji je najveću vrijednost imao krajem ljeta i početkom jeseni. HSI % je u mužjaka bio relativno konstantan sa srednjom vrijednosti oko tri, a kod ženki je imao veliki skok vrijednosti u rujnu, što znači da ostaju na istom mjestu na kojem su se parile kako bi se hranile i oporavile od terminalnog ekdisisa (Epifanio, 2019). Također, potrebno je istaknuti kako su ženke u gotovo svim mjesecima imale veću vrijednost HSI % od mužjaka, a u rujnu ta je vrijednost bila 2,62 puta veća u ženki. Vrijednosti HSI % kod Belgrad i Griffen (2016) razlikovale su se ovisno o veličini i tipu porcije kojom su hranili plavog raka. Pri manjoj porciji ribe ili školjkaša ona iznosi između dva i tri te ujedno predstavlja i realnije uvjete poput onih u rezervatu Palud – Palù gdje su resursi ograničeni te je prisutna kompeticija

zbog male površine močvare i sve većeg broja jedinki na istom prostoru. Ove su vrijednosti manje u jedinki koje su hranjene cvjetnicama te i imaju vrijednost jednaku jedan. Rezultati HSI % u kojem su rakovi hranjeni manjim porcijama životinjskog porijekla poklapaju se s rezultatima HSI % mužjaka plavih rakova u posebnom ornitološkom rezervatu Palud – Palù u 2022. godini. U ženki su se te vrijednosti kretale između tri i četiri, dok su u rujnu dostigle vrijednost od 6,59, a takve su vrijednosti u eksperimentu imali plavi rakovi hranjeni velikim porcijama životinjskog porijekla (Belgrad i Griffen, 2016). Lucrezia i sur. (2015) dobili su također rezultate u kojem je srednja vrijednost HSI % plavog raka  $3,88 \pm 0,80$ . GSI % je u mužjaka najveći bio u svibnju (1,64), a najmanji u kolovozu (0,37) dok im je suprotno tome FI % najveći bio u kolovozu (9,14). Ovo upućuje na energetske zahtjevne procese sazrijevanja gonada zbog čega su presvlačenje i razmnožavanje u međusobnom antagonizmu. Masa im se kretala paralelno s vrijednostima GSI %. Ali i sur., (2021) dobili su rezultat u kojem je GSI % u mužjaka najveći u proljeće (2,65 – 5,56). Te vrijednosti su veće od onih u močvari Palud – Palù iako im je CL približno jednak. Srednja vrijednost širine glavopršnjaka kod Ali i sur. (2021) bila je  $12,6 \pm 1,8$  cm, dok su se u ornitološkom rezervatu te vrijednosti kretale između  $11,4 \pm 1,65$  cm za mužjake. Na talijanskoj obali, u laguni Lesina GSI % je pokazao nešto manju srednju vrijednost od  $1,65 \pm 0,65$  (Lucrezia i sur., 2015), a unutar močvare Palud – Palù srednja vrijednost za svibanj u mužjaka bila je gotovo ista 1,64, a u ženki 1,03. Tijekom životnog ciklusa plavi rak izmjenjuje nekoliko trofičkih razina i time povećava mogućnost kompeticije s autohtonom faunom. Odrasli su prijetnja autohtonoj vrsti raka *Carcinus maenas*, dok se juvenilne jedinke plavog raka nadmeću za hranu s vrstama poput *Pachygrapsus marmoratus*, *Chelon saliens* i *Syngnathus typhle* (Roudez i sur., 2008). Iako je glavnina hranjenja u sumrak (Ryer, 1987; Giacotto, 2022), samo 12 jedinki (15 %) imalo je prazan želudac, dok ih je šest (8 %) imalo popunjenost želudca 75 %, a 10 jedinki popunjenost od 50 %. Najviše (27) ih je svrstano u kategoriju 2 s popunjenosti želudca od 25 %. Budući se uzorkovanje vršilo po danu, dobiveni rezultati imaju visoke vrijednosti popunjenosti želudca. Kako bi se dobili još cjelovitiji i točniji rezultati, jedinke plavog raka bi trebali biti sakupljene pred sumrak kada su plavi rakovi i najaktivniji. Analiza stabilnim dušikovim izotopima moderna je metoda za kvantitativnu procjenu trofičke razine jer ukazuje na prostorno-vremensku prehranu konzumenta. O pomalo

zabrinjavajućem apetitu plavog raka pišu također Carlino i sur., 2014. Koristeći navedenu metodu utvrdili su kako plavi rak ima veći  $\delta^{15}\text{N}$  od autohtonog omnivornog raka *Pachygrapsus marmoratus*, te predatorske ribe orade (*Sparus aurata*), što znači da može zauzeti trofički stupanj predatora i imati veliki ekološki utjecaj na cijelo okolno područje (Carlino i sur., 2014). Kombinacija analize stabilnim dušikovim izotopima i podjele u kategorije potpunosti želudca prema Rady i sur. (2018), dala bi još potpuniju informaciju o prehranbenim navikama plavog raka pogotovo što je vrijednost F % nedeterminiranog sadržaja 10,64 %. Budući su među taksonima najučestaliji bili nedeterminirani mekušci (14,89 %) i nedeterminirani školjkaši (10,64 %), postoji rizik od ekonomskih i gospodarskih šteta na uzgajalištima školjkaša u kojima se pojavi plavi rak. Jedan takav primjer je uzgajalište Sacca di Goro u Italiji s godišnjom proizvodnjom školjkaša *Ruditapes philippinarum* koja doseže oko 15 000 – 16 000 tona u kojem je 2014. godine pronađena ženka s jajašcima (Manfrin i sur., 2015). Eskalacija utjecaja plavog raka na tamošnja uzgajališta vrste *R. philippinarum* dogodila se ove godine pri čemu je talijanska vlada odobrila financijsku pomoć tamošnjim ribarima i uzgajivačima kako bi se umanjile štetne ekonomske posljedice (medijska priopćenja). Plavi rak nanosi štetu konzumirajući komercijalne školjkaše i autohtone rakove u fazi presvlačenja (eng. *peeler crab*). Uz komercijalno bitne školjkaše, u ovom radu detektirano je kako može konzumirati i strogo zaštićenog prstaca (*Lithophaga lithophaga*) (2,13 %), iz čega proizlaze implikacije na njegov utjecaj i u kontekstu zaštićenih prirodnih vrijednosti. Također napada i ribe ulovljene u mreže te oštećuje ribolovne alate. Autotrofni organizmi imali su sveukupnu vrijednost F % 20.21 %. Međutim poznato je kako plavim rakovima to nije glavna prehrana. Postoji mogućnost kako je dio ovog postotka zapravo rezultat obraštaja algi s oklopa konzumiranih rakova i školjkaša. Mediteranska dagnja (*Mytilus galloprovincialis*) s frekvencijom učestalosti pojavljivanja od 5,32 %, često je pronađena upravo kao epibionti što također dodaje ovom postotku. Plavi rak je gospodarski važna vrsta i njegovom eksploatacijom iz invadiranih područja ostvarila bi se ekonomska korist. U istočnom SAD-u, poznato je da igra ključnu ulogu u strukturi i funkciji obalnih bentoskih hranidbenih mreža, bilo kao ključna vrsta (eng. *keystone species*) ili induciranjem trofičkih kaskada. U Hrvatskoj može biti prijetnja bioraznolikosti Jadrana i posljedično gospodarstvu, dok su npr. u Turskoj i Grčkoj uspostavljena područja za njegov uzgoj

budući je zbog izlova došlo do pada u brojnosti u prirodi. Kako je plavi rak detritofag, potencijalno može biti i bioindikator za onečišćenja okoliša teškim metalima. Koncentracije teških metala u sedimentu mogu biti 100 - 10000 puta veće od onih u vodenom stupcu. Hepatopankreas ima izrazit akumulacijski potencijal za metale zahvaljujući proteinima poput metalotioneina. Koncentrira i akumulira najveću koncentraciju žive (Hg) i olova (Pb) (Genç i Yilmaz, 2017). Plavi rak je dobar izvor proteina, vitamina, nezasićenih masnih kiselina i minerala. Sastav mesa ovisi o veličini, spolu, spolnoj zrelosti, temperaturi, salinitetu, kemizmu vode i ishrani. Natrij (Na) je dominantan mineral i najviše ga ima u hepatopankreasu, dok je kalcija (Ca) i fosfora (P) najviše detektirano u tkivu visceralnih organa glavopršnjaka. Proteini su najzastupljeniji u mišićnom tkivu kliješta (Küçükgülmez i sur., 2006). Osim toga, pokazao se kao dobar izvor esencijalnih masnih kiselina. Mehmet i sur. (2004) ekstrahirali su masti saponifikacijom i esterifikacijom te analizirali macerirane uzorke tkiva plinskom kromatografijom. Utvrdilo se da je najveći omjer omega 3 i omega 6 u mišićnom tkivu glavopršnjaka (3,18) iza čega je slijedilo mišićno tkivo iz kliješta s omjerom 2,32 te hepatopankreas (1,57). Udio esencijalnih masti razlikovao se među jedinkama ovisno o dobi, spolu, prehrani i izloženosti stresu. U SAD-u se smatra delikatesnim proizvodom te se konzumira kao delicija pod nazivom „*Cocktail Claws*” ili „*Soft shell claw meat*” (Çelik i sur., 2004). Primjer dobre prakse počeo se pojavljivati i u Puli gdje se uz poznate vongole, u ribarnicama počeo prodavati i atlantski plavi rak (Slika 22.).



Slika 22. Jedinke plavog raka u prodaji na pulskoj ribarnici, 4. kolovoza, 2023. (autor: Neven Iveša)



## 5. ZAKLJUČAK

Prisutnost plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù u većem dijelu godine ukazuje da je vrsta uspostavila stabilnu populaciju unutar ovog biološki vrijednog staništa. Iako se Jadran ubraja u oligotrofna mora, sjeverni dio u kojem se nalazi i Palud – Palù izrazito je produktivan zbog malih dubina, i pritoka rijeka kojim dolaze hranjive soli te se povećava primarna produkcija. To osigurava optimalne uvjete i plavim rakovima, kojima se u sjevernom Jadranu učestalo povećava broj. Najveći broj spolno zrelih jedinki plavog raka u proljeće kao i najveći GSI % upućuje da im je tada sezona reprodukcije. Iako je teško zaključiti zbog manjeg broja uzoraka u listopadu, velika je vjerojatnost kako početkom jeseni ženke migriraju u more, zbog promjene saliniteta u rezervatu Palud – Palù te sazrijevanja jajašaca. Kako bi se upotpunile informacije o životnom ciklusu plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù i sličnim ekosustavima, trebalo bi pratiti dinamiku prodora megalopa pomoću odgovarajućih kolektora i metoda. Visoke vrijednosti Fultonovog indeksa kondicije upućuju na dobro zdravstveno i kondiciono stanje populacije plavog raka unutar ornitološkog rezervata Palud – Palù u 2022. godini. HSI % raste od proljeća prema jeseni, zbog veće potrebe skladištenja energetske rezerve za nadolazeće hladnije mjesece, kada im je i metabolička aktivnost smanjena. Vrijednosti HSI % također ukazuju da su se rakovi pretežno hranili životinjskom hranom. Dominacija mekušaca u ishrani plavih rakova upućuje na moguću kompeticiju s autohtonim dekapodnim rakom *Carcinus maenas* dok ujedno ima negativan utjecaj na populacije komercijalno bitnih ili ugroženih mekušaca. Plavi rak se pokazao kao vrlo učinkovit predator koji može značajno utjecati na sastav autohtone flore i faune, poremetiti energetiku trofičke mreže uklanjajući druge predatore i time utjecati na bioraznolikost područja kojeg invadira. Kako je slana močvara Palud – Palù ujedno i ornitološki rezervat, plavi rak može negativno utjecati na autohtonu faunu ptica u vidu smanjenja njima raspoloživih energetskih resursa. S druge strane meso plavog raka se smatra izrazito delikatnim, te se njegovom komercijalizacijom može ostvariti ekonomska dobit dok se ujedno smanjuje njegov utjecaj na ekosustav Jadrana. Daljnja istraživanja su potrebna kako bi se bolje razumjele biološke i ekološke značajke plavog raka, a sve sa svrhom uspostavljanja pravilnog monitoringa i smanjenja negativnog utjecaja i daljnjeg prodora.

## 6. POPIS LITERATURE

Abol-Munafi A. B., Pilus N., Amin R. M., Azra M. N., Ikhwanuddin M. (2017) Digestive enzyme profiles from foregut contents of blue swimming crab, *Portunus pelagicus* from Straits of Johor, Malaysia. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 24(1), 120-125.

Ali A., El Sherif S., Abd Alla J., Maulu S., Tantawy A. A., Soliman M. F., Hassan M. M., Hassan Moh. M., Khalil, H. S. (2021) Morphometric, histochemical, and ultrastructural analysis of the reproductive system and spermatogenic stages of male blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896). *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1105.

Belgrad B. A. i Griffen B. D. (2016) The Influence of Diet Composition on Fitness of the Blue Crab, *Callinectes sapidus*. *PLoS ONE* 11(1): e0145481.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145481>

Benšić M., Šuvak N. (2013) Primijenjena statistika. Sveučilište JJ Strossmayera, Odjel za matematiku, Osijek.

Blundon J., Kennedy V.S. (1982) Mechanical and behavioral aspects of blue crab, *Callinectes sapidus* (Rathbun), predation on Chesapeake Bay bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 65, 47-65. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(82\)90175-7](https://doi.org/10.1016/0022-0981(82)90175-7)

Carlino P., Potenza L., Carrozzo L., Costantini M., Mancinelli G., Rossi L. (2014) Seasonal abundance and trophic position of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 in a Mediterranean coastal habitat. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*. 25.

Ceccaldi H. J. (1989) Anatomy and physiology of digestive tract of crustaceans decapods reared in aquaculture.

Çelik M., Türeli C., Çelik Mustafa, Yanar Y., Erdem Ü., Küçükgülmez A. (2004) Fatty acid composition of the blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) in the north eastern Mediterranean, *Food Chemistry*, Volume 88, Issue 2, pp. 271-273,  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.038>.

Cochran D. M. (1935) The skeletal musculature of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. *Smithsonian Miscellaneous Collections*.

Dittel A. I., Epifanio C. E., Schwalm S. M., Fantle M. S., Fogel M. L. (2000) Carbon and nitrogen sources for juvenile blue crabs *Callinectes sapidus* in coastal wetlands. *Marine Ecology Progress Series*, 194, 103–112. <http://www.jstor.org/stable/24855655>

Epifanio C. E. (2019) Early life history of the blue crab *Callinectes sapidus*: a review. *Journal of Shellfish Research*, 38(1), 1-22.

Falsone F., Scannella D., Geraci M., Vitale S., Sardo G. Fiorentino F. (2020) Further records of *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) (Decapoda, Brachyura, Portunidae) in the Strait of Sicily. Marine Biodiversity Records. 13. <https://doi.org/10.1186/s41200-020-00190-5>

Flores A., Wiff R., Díaz E. (2015) Using the gonadosomatic index to estimate the maturity ogive: application to Chilean hake (*Merluccius gayi gayi*). ICES Journal of Marine Science 72(2): 508-514.

Gavrilović A., Dujaković J., Paliaga P., Iveša N., Budiša A., Millotti G., Castelletto A., Barić O. (2021) Procjena stanja populacije Atlanskog plavog raka (*Callinectes sapidus*) i ugroženosti Posebnog ornitološkog rezervata Palud – Palù te uspostava monitoringa kao upravljačke aktivnosti

Genç T. O., Yilmaz, F. (2017) Metal Accumulations in Water, Sediment, Crab (*Callinectes sapidus*) and Two Fish Species (*Mugil cephalus* and *Anguilla anguilla*) from the Köyceğiz Lagoon System–Turkey: An Index Analysis Approach. Bull Environ Contam Toxicol 99, 173–181. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2121-7>

Giacotto L. (2022) The Invasive Blue Crab *Callinectes sapidus*: An Ecological Characterisation of Selected Populations in New Adriatic Environments

Hay W. P. (1905) The life history of the blue crab (*Callinectes sapidus*) (No. 580). US Government Printing Office

Hill K. (2004). "Species name: *Callinectes sapidus* (blue crab)" (On-line). Smithsonian Marine Station at Fort Pierce. [http://www.sms.si.edu/irlspec/callin\\_sapidu.htm](http://www.sms.si.edu/irlspec/callin_sapidu.htm).

Horton T., Kroh A., Ahyong S., Bailly N., Boyko C. B., Brandão S. N., Gofas S., Hooper J. N. A., Hernandez F., Holovachov O., Mees J., Molodtsova T. N., Paulay G., Decock W., Dekeyzer S., Poffyn, G., Vandepitte L., Vanhoorne B., Adlard R., Agatha S., Ahn K. J., Akkari N., Alvarez B., Amorim V., Anderberg A., Anderson G., Antic D., Antonietto L.S., Arango C., Artois T., Atkinson S., Auffenberg K., Baldwin B.G., Bank R., Barber A., Barbosa J. P., Bartsch I., Bellan-Santini D., Bergh N., Bernot J., Berta A., Bezerra T. N., Bieler R., Blanco S., Blasco-Costa I., Blazewicz M., Bock P., Bonifacino de León M., Böttger-Schnack R., Bouchet P., Boury-Esnault N., Bouzan R., Boxshall G., Bray R., Bruce N.L., Bueno V., Bueno-Villegas J., Cairns S., Calvo Casas J., Carballo J. L., Cárdena P., Carsten E., Cha B. K., Chan T.Y., Chen, L., Christenhus M., Churchill M., Coleman C.O., Collins A. G., Collins G. E., Corbari L., Cordeiro R., Cornils A., Coste M., Costello M. J., Crandall K. A., Cremonte F., Cribb, T., Cutmore, S., Dahdouh-Guebas, F., Daly, M., Daneliya, M., Dauvin, J.C., Davie, P., De Broyer C., De Grave S., de Lima Ferreira P., de Mazancourt V., de Voogd N.J., Decker P., Defaye D., d'Hondt J.L., Dippenaar S., Dohrmann M., Dolan J., Domning D., Downey R., Dreyer N., Ector L., Eisendle U., Eitel M., Encarnação S. C. D., Enghoff H., Epler J., Ewers-Saucedo C., Faber M., Figueroa D., Finn J., Fišer C., Fordyce E., Foster W., Frank J.H., Fransen C., Freire S., Furuya H., Gale A., Galea H., Gao T., Garcia-Alvarez O., Garcia-Jacas N.,

Garic R., Garnett S., Gasca R., Gaviria-Melo S., Gerken S., Gibson D., Gibson R., Gil J., Gittenberger A., Glasby C., Glenner H., Glover A., Gómez-Noguera S. E., González-Solís D., Gostel M., Grabowski M., Gravili C., Grossi M., Guerra-García, J. M., Guidetti, R., Guiry, M.D., Gutierrez, D., Hadfield, K.A., Hajdu, E., Hallermann, J., Hayward, B.W., Heiden, G., Hendrycks, E., Herbert, D., Herrera Bachiller, A., Ho, J.s., Hodda, M., Høeg, J., Hoeksema, B., Houart, R., Hughes, L., Hyžný, M., Iniesta, L.F.M., Iseto, T., Ivanenko, V., Iwataki, M., Janssen, R., Jaume, D., Jazdzewski, K., Jersabek, C.D., Józwiak, P., Kabat, A., Kantor, Y., Karanovic, I., Karthick, B., Kathirithamby, J., Katinas, L., Kim, Y.H., King, R., Kirk, P.M., Klautau, M., Kociolek, J.P., Köhler, F., Kolb, J., Konowalik, K., Kotov, A., Kovács, Z., Kremenetskaia, A., Kristensen, R.M., Kulikovskiy, M., Kullander, S., Kupriyanova, E., Lambert, G., Lazarus, D., Le Coze, F., LeCroy, S., Leduc, D., Lefkowitz, E.J., Lemaitre, R., Lichter-Marck, I.H., Lindsay, D., Liu, Y., Loeuille, B., Lörz, A.N., Lowry, J., Ludwig, T., Lundholm, N., Macpherson, E., Madin, L., Mah, C., Mamo, B., Mamos, T., Manconi, R., Mapstone, G., Marek, P.E., Marshall, B., Marshall, D.J., Martin, P., Mast, R., McFadden, C., McInnes, S.J., Meland, K., Melo da Silva, D.C., Merrin, K.L., Messing, C., Mills, C., Moestrup, Ø., Mokievsky, V., Monniot, F., Mooi, R., Morandini, A.C., Moreira da Rocha, R., Morrow, C., Mortelmans, J., Mortimer, J., Muñoz Gallego, A.R., Musco, L., Nery, D.G., Nesom, G., Neubauer, T.A., Neubert, E., Neuhaus, B., Ng, P., Nguyen, A.D., Nielsen, C., Nishikawa, T., Norenburg, J., O'Hara, T., Opresko, D., Osawa, M., Osigus, H.J., Ota, Y., Páll-Gergely, B., Panero, J.L., Pasini, E., Patterson, D., Paxton, H., Pelser, P., Peña-Santiago, R., Perez-Losada, M., Petrescu, I., Pflingstl, T., Pica, D., Picton, B., Pilger, J.F., Pisera, A.B., Polhemus, D., Poore, G.C., Potapova, M., Pugh, P., Read, G., Reich, M., Reimer, J.D., Reip, H., Reuscher, M., Reynolds, J.W., Richling, I., Rimet, F., Ríos, P., Rius, M., Rodríguez, E., Rogers, D.C., Roque, N., Rosenberg, G., Rützler, K., Saavedra, M., Sabbe, K., Saiz-Salinas, J., Sala, S., Santagata, S., Santos, S., Sar, E., Satoh, A., Saucède, T., Schatz, H., Schierwater, B., Schilling, E., Schmidt-Lebuhn, A., Schmidt-Rhaesa, A., Schneider, S., Schönberg, C., Schuchert, P., Senna, A.R., Sennikov, A., Serejo, C., Shaik, S., Shamsi, S., Sharma, J., Shear, W.A., Shenkar, N., Short, M., Sicinski, J., Sierwald, P., Simmons, E., Sinniger, F., Sivell, D., Sket, B., Smit, H., Smit, N., Smol, N., Souza-Filho, J.F., Spelda, J., Sterrer, W., Stienen, E., Stoev, P., Stöhr, S., Strand, M., Suárez-Morales, E., Summers, M., Suppan, L., Susanna, A., Suttle, C., Swalla, B.J., Taiti, S., Tanaka, M., Tandberg, A.H., Tang, D., Tasker, M., Taylor, J., Taylor, J., Tchesunov, A., Temereva, E., ten Hove, H., ter Poorten, J.J., Thomas, J.D., Thuesen, E.V., Thurston, M., Thuy, B., Timi, J.T., Timm, T., Todaro, A., Turon, X., Uetz, P., Urbatsch, L., Uribe-Palomino, J., Urtubey, E., Utevsky, S., Vacelet, J., Vachard, D., Vader, W., Väinölä, R., Van de Vijver, B., van der Meij, S.E., van Haaren, T., van Soest, R.W., Vanreusel, A., Venekey, V., Vieira, L.O.M., Vinarski, M., Vonk R., Vos C., Walker-Smith G., Walter T.C., Watling L., Wayland M., Wesener T., Wetzler, C. E., Whipps, C. White K., Wieneke U., Williams D.M., Williams G., Wilson R., Witkowski A., Witkowski J., Wyatt N., Wylezich C., Xu K., Zanol J., Zeidler W., Zhao Z. (2021). World Register of Marine Species. Dostupno na: <https://www.marinespecies.org>.

- Küçükgülmez A., Celik M., Yanar Y., Ersoy B., Çikrikçi M. (2006) Proximate composition and mineral contents of the blue crab (*Callinectes sapidus*) breast meat, claw meat and hepatopancreas. International Journal of Food Science & Technology. 41. 1023 - 1026. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01159.x>
- Lucrezia C., Paziienza G., Scirocco T., Fabbrocini A., D'Adamo R. (2015) First record of ovigerous *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in the Gargano Lagoons (south-west Adriatic Sea). *BiolInvasions Records*. 4. 281-287. <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2015.4.4.09>
- López-Duarte P.C., Tankersley R.A. (2007) Circatidal swimming behavior of brachyuran crab zoea larvae: implications for ebb-tide transport. *Marine Biology* 151, 2037–2051 <https://doi-org.ezproxy.nsk.hr/10.1007/s00227-007-0614-3>
- Mancinelli G., Glamuzina B., Petrić M., Carrozzo L., Glamuzina L., Zotti M., Raho D., Vizzini S. (2016) The trophic position of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 in the food web of Parila Lagoon (South Eastern Adriatic, Croatia): a first assessment using stable isotopes. *Mediterranean Marine Science*, 17(3), 634–643. <https://doi.org/10.12681/mms.1724>
- Mancinelli G., Chainho P., Cilenti L., Falco S., Kapiris K., Katselis G., Ribeiro F. (2017) The Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* in southern European coastal waters: Distribution, impact and prospective invasion management strategies. *Marine pollution bulletin*, 119(1), 5-11.
- Mancinelli G., Bardelli R., Zenetos A. (2021) A global occurrence database of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus*. *Scientific Data* 8, 111 <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00888-w>
- Manfrin C., Chung J., Turolla E., Giulianini P. (2015) First occurrence of *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) within the Sacca di Goro (Italy) and surroundings. *Check List* 11(3): 1640. <https://doi.org/10.15560/11.3.1640>
- Manfrin C., Bettoso N., Comisso G., dall'Asta A., Chung J. (2016) The return of the Blue Crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, after 70 years from its first appearance in the Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea, Italy (Decapoda: Portunidae). *Check List* 12(6): 2006. <https://doi.org/10.15560/12.6.2006>
- Mantelatto F. L. M., Fransozo A. (1999) Reproductive biology and moulting cycle of the crab *Callinectes ornatus* (Decapoda, Portunidae) from the Ubatuba region, São Paulo, Brazil. *Crustaceana*, 63-76.
- Morado C. N., Araújo F. G., Gomes I. D. (2017) The use of biomarkers for assessing effects of pollutant stress on fish species from a tropical river in Southeastern Brazil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences* 39: 431-439.

- Njegovan V. (2014) Ugroženost Jadranskog mora invazivnim vrstama, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:019657>
- Rabaoui L., Arculeo, M., Mansour, L., Tlig-Zouari, S. (2015) Occurrence of the lessepsian species *Portunus segnis* (Crustacea: Decapoda) in the Gulf of Gabes (Tunisia): first record and new information on its biology and ecology. *Cahiers de Biologie Marine*, 56(2), 169-175.
- Rady A.A., Sallam W. S., Abdou N.E. I., El-Sayed A.A. M. (2018) Food and feeding habits of the blue crab, *Callinectes sapidus* (Crustacea: Decapoda: Portunidae) with special reference to the gastric mill structure. *Egyptian journal of aquatic biology and fisheries*, 22, 417-431. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91449035>
- Ricker W. E. (1975) Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 191: 382
- Riedl R. (2015) Fauna e flora del Mediterraneo. Dalle alghe ai mammiferi: una guida sistematica alle specie che vivono nel mar Mediterraneo. Padova: Muzzio, Italy, str. 803.
- Ryer C. H. (1987) Temporal patterns of feeding by blue crabs (*Callinectes sapidus*) in a tidal-marsh creek and adjacent seagrass meadow in the lower Chesapeake Bay. *Estuaries*, 10, 136-140.
- Ropes J. W. (1968) The feeding habits of the green crab, *Carcinus maenas* (L.). *Fishery Bulletin*, 67(2), 183-203.
- Roudez R.J., Glover, T., Weis, J.S. (2008) Learning in an invasive and a native predatory crab. *Biological Invasions* 10, 1191–1196 <https://doi-org.ezproxy.nsk.hr/10.1007/s10530-007-9195-9>
- Rukavina T. (2022) Komparativne morfometrijske značajke plavog raka *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 u jugoistočnom Jadranu, Diplomski rad, Sveučilište u Dubrovniku, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:155:990130>
- Smith L. D., Hines, A. H. (1991) Autotomy in Blue Crab (*Callinectes sapidus* Rathbun) Populations: Geographic, Temporal, and Ontogenetic Variation. *Biological Bulletin*, 180(3), 416–431. <https://doi.org/10.2307/1542342>
- Tutman P., Iveša N. (2022) Ichthyofauna of the salt marsh Palud – Palù (Istria, Croatia) – Summer aspect. 2<sup>nd</sup> Southeast European Ichthyological Conference (SEEIC) 2022.
- Kennedy V. S., Cronin L. E. (2007) The Blue Crab: *Callinectes Sapidus*. U: *Reproduction Biology and Embryonic Development* (ur. Jivoff, P., Hines, A.H., Quackenbush, L.S.). Tiskano u Kini, A Maryland Sea Grant Book, College Park, Maryland, pp. 774.

Kennedy V. S., Cronin L. E. (2007) The Blue Crab: *Callinectes Sapidus*. U: Ecology of Juvenile and Adult Blue Crabs (ur. Hines, A.H.). Tiskano u Kini, A Maryland Sea Grant Book, College Park, Maryland, pp. 774.

Zmora N., Trant J., Zohar Y., Chung J.S. (2009) Molt-inhibiting hormone stimulates vitellogenesis at advanced ovarian developmental stages in the female blue crab, *Callinectes sapidus* 1: an ovarian stage dependent involvement. Aquatic Biosystems 5, 7. <https://doi-org.ezproxy.nsk.hr/10.1186/1746-1448-5-7>

rakovi. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 6. 8. 2023. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=51703>

## 7. POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. Neptunus pelagicus (A), Portunus segnis (B), Portunus pelagicus (C), Callinectes sapidus (D).

Slika 2. Rasprostranjenost atlantskog plavog raka.

Slika 3. Osnovne morfološka značajke plavog raka.

Slika 4. Spolni dimorfizam plavog raka.

Slika 5. Faze reprodukcije.

Slika 6. Faze životnog ciklusa plavog raka.

Slika 7. Želudac i želučani mlin (eng. *gastric mill*).

Slika 8. Poseban ornitološki rezervat Palud – Palù.

Slika 9. Temperatura unutar područja uzorkovanja u ornitološkom rezervatu Palud – Palù, po mjesecima.

Slika 10. Salinitet unutar područja uzorkovanja u ornitološkom rezervatu Palud – Palù, po mjesecima.

Slika 11. Broj mužjaka i ženki plavog raka ulovljenih u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone

Slika 12. Vrijednost prosječne mase mužjaka i ženki plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

Slika 13. Vrijednosti FI % za mužjake plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù po sezonama.

Slika 14. Vrijednosti FI % za ženke plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù po sezonama.

Slika 15. Vrijednosti hepatosomatskog indeksa (HSI %) kod mužjaka plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

Slika 16. Vrijednosti hepatosomatskog indeksa (HSI %) kod ženki plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

Slika 17. Vrijednosti gonadosomatskog indeksa (GSI %) kod mužjaka plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

Slika 18. Vrijednosti gonadosomatskog indeksa (GSI %) kod ženki plavih rakova u ornitološkom rezervatu Palud – Palù kroz sezone.

Slika 19. Sadržaj želudca raspoređen unutar pet kategorija potpunosti u ornitološkom rezervatu Palud – Palù, s prikazom broja jedinki i postotnom vrijednošću.

Slika 20. Sadržaj želudca.

Slika 21. Vrijednosti relativne frekvencije učestalosti pojavljivanja pojedine svojte plijena u želudcu plavih rakova iz ornitološkog rezervata Palud – Palù.

Slika 22. Jedinke plavog raka u prodaji na pulskoj ribarnici, 4. kolovoza, 2023.

Tablica 1. Srednje vrijednosti i standardna devijacija širine glavopršnjaka (CL) u centimetrima kod mužjaka (M) i ženki (Ž) po mjesecima.



## 8. SAŽETAK

Dolaskom u nova staništa, invazivne strane vrste mogu negativno utjecati na stabilnost ekosustava. Jedna od 100 najinvazivnijih vrsta na Sredozemlju je plavi rak (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) koji je detektiran i u slanoj močvari ornitološkog rezervata Palud – Palù na zapadnoj obali Istre. Kako bi se na tom području utvrdile njegove biološko - ekološke značajke, analizirane su jedinke plavih rakova prikupljene vršama i ručno od svibnja do listopada 2022. godine. Nakon određivanja spola i vaganja, jedinkama su uzete morfometrijske mjere; širina glavopršnjaka (CL) za izračun indeksa kondicije (FI %) te je analiziran sadržaj želudca. Izvagani su hepatopankreas i gonade kako bi se izračunali hepatosomatski (HSI %) i gonadosomatski indeks (GSI %) tijekom sezona. U populaciji plavih rakova u rezervat Palud – Palù od sveukupno 79 sakupljenih jedinki prevladavali su mužjaci (82 %). Najveće vrijednosti FI % zabilježene su kod mužjaka ljeti u kolovozu (9,14), a u ženki u rujnu (7,64) s trendom pozitivnog rasta. HSI % najveću srednja vrijednost oba spola pokazala je u rujnu (3,44). Kod mužjaka najveću vrijednost je imala u srpnju (2,96), a kod ženki u rujnu (6,59). Srednja vrijednost GSI % za oba spola je bila najveća u svibnju (1,61), odnosno u vrijeme mrijesta. U mužjaka najveću vrijednost imala je u svibnju (1,64), dok su u ženki visoke vrijednosti GSI % bile u svibnju (1,03) te kolovozu (2,54). Od 79 analiziranih rakova, tek 12 jedinki (15 %) imalo je prazan želudac, dok ih je šest (8 %) imalo popunjenost želudca od 75 %, a 10 jedinki popunjenost od 50 %. Jedna jedinka (1 %) imala je u potpunosti pun želudac, međutim najviše jedinki (27) imalo je popunjenost želudca od 25 %. Općenito su u prehrani plavog raka u ornitološkom rezervatu Palud – Palù prema vrijednostima F % dominirali mekušci (37,22 %), slijede ribe sa 11,7 %, dok su rakovi, kukci te morske cvjetnice imali jednake vrijednosti F % (3,19 %). U želudcu nije bilo moguće identificirati 10,64 % sadržaja, dok F % detritusa iznosi 6,38 %. Ovi preliminarni podaci o biološko-ekološkim značajkama plavog raka ukazuju da je vrsta na području ornitološkog rezervata Palud – Palù uspostavila populaciju koja može negativno utjecati na autohtonu faunu ptica, u vidu smanjenja njima raspoloživih energetske resursa kao i na cijeli ekosustav rezervata, Stoga je potrebno redovito provoditi monitoring i razmotriti odgovarajuće mjere u cilju smanjenja njegova prodora u rezervat i/ili uklanjanje iz tog biološki vrijednog staništa.

Ključne riječi: plavi rak, biološko-ekološke značajke, Palud – Palù.

## 9. ABSTRACT

Upon arriving in new habitats, invasive alien species can negatively impact ecosystem stability. One of the 100 most invasive species in the Mediterranean is the blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896), which has been detected in the saline marsh of the Palud-Palù ornithological reserve on the western coast of Istria. To determine its biological and ecological characteristics in this area, individuals of blue crabs were collected from May to October 2022. After sex determination and weighing, morphometric measurements were taken, including the width of the carapace (CL) to calculate the condition index (FI %), and stomach contents were analyzed. Hepatopancreas and gonads were weighed to calculate hepatosomatic (HSI %) and gonadosomatic indices (GSI %) during the season. In the blue crab population at the Palud-Palù reserve, out of a total of 79 collected individuals, males were predominant (82 %). The highest FI % values were recorded in males in August (9,14) and in females in September (7,64), showing a positive growth trend. The highest HSI % mean value for both sexes was observed in September (3,44). Among males, the highest value was in July (2,96), while among females, it was in September (6,59). The mean GSI % value for both sexes was highest in May (1,61), during the spawning season. In males, the highest value was in May (1,64), while in females, high GSI % values were observed in May (1,03) and August (2,54). Out of the 79 analyzed crabs, only 12 individuals (15 %) had empty stomachs, while six (8 %) had stomach fillings of 75 %, and 10 had stomach fillings of 50 %. One individual (1 %) had a completely full stomach, but the majority of individuals (27) had stomach fillings of 25 %. In the diet of the blue crab in the Palud-Palù ornithological reserve, mollusks dominated (37,22 %), followed by fish at 11,7 %, while crabs, insects, and seagrass had equal F % values (3,19 %). It was not possible to identify the content of 10,64 % of the stomach contents, while the detritus F % was 6,38 %. These preliminary data on the biological and ecological characteristics of the blue crab indicate that the species has established a population within the ornithological reserve Palud - Palù, which can have a negative impact on the native bird fauna by reducing their available energy resources, as well as on the entire ecosystem of the reserve. Therefore, it is necessary to regularly conduct monitoring and consider appropriate measures to reduce its intrusion into the reserve and/or its removal from this biologically valuable habitat.

Keywords: blue crab, biological-ecological characteristics, Palud-Palù.