Istraživanje pojave i rasprostranjenosti nezavičajne vrste Pseudodiaptomus marinus Sato, 1913 (COPEPODA, CALANOIDA) na području šibenske luke

Skračić, Marta

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:226:906112

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of University Department of Marine Studies

SVEUČILIŠTE U SPLITU

SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA

DIPLOMSKI STUDIJ EKOLOGIJA I ZAŠTITA MORA

MARTA SKRAČIĆ

ISTRAŽIVANJE POJAVE I RASPROSTRANJENOSTI NEZAVIČAJNE VRSTE *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (COPEPODA, CALANOIDA) NA PODRUČJU ŠIBENSKE LUKE

Diplomski rad

Split, lipanj 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA
DIPLOMSKI STUDIJ EKOLOGIJA I ZAŠTITA MORA

ISTRAŽIVANJE POJAVE I RASPROSTRANJENOSTI NEZAVIČAJNE VRSTE *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (COPEPODA, CALANOIDA) NA PODRUČJU ŠIBENSKE LUKE

Diplomski rad

Predmet: Ekologija estuarija

Mentor:
Doc. dr. sc. Olja Vidjak

Student:
Marta Skračić

Split, lipanj 2020.

ZAHVALA

Ovim putem se zahvaljujem, prije svega, svojoj mentorici dr. sc. Olji Vidjak koja je izdvojila dovoljno vremena i bila na raspolaganju za sve moje upite vezane za ovaj diplomski rad, te imala strpljenja i mnogo korisnih savjeta i uputa za izradu istog.

Zahvaljujem se mag. biologije i ekologije mora Tiji Damjanović na pomoći pri laboratorijskom radu.

Također, zahvaljujem se i Laboratoriju za fiziku Instituta za oceanografiju i ribarstvo na ustupljenim podacima za temperaturu i slanost, koje sam koristila u svom radu.

I naposljetku, najveću zahvalu upućujem svojoj obitelji, momku i prijateljima koji su me poticali i motivirali tijekom cjelokupnog studiranja, te u konačnici pomogli finalizirati ovaj diplomski rad.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Splitu
Sveučilišni odjel za studije mora
Diplomski studij Ekologija i zaštita mora

Diplomski rad

ISTRAŽIVANJE POJAVE I RASPROSTRANJENOSTI NEZAVIČAJNE VRSTE *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (COPEPODA, CALANOIDA) NA PODRUČJU ŠIBENSKE LUKE

Marta Skračić

Sažetak

U ovom su diplomskom radu analizirani podaci o nezavičajnoj vrsti kalanoidnog kopepoda *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913, pripadniku porodice Pseudodiaptomidae, na području šibenske luke smještene na ušću rijeke Krke. S obzirom na učestali brodski promet unutar luke, vrlo je vjerovatno da je vrsta unesena u Jadransko more putem balastnih voda, koje globalno predstavljaju jedan od glavnih vektora prijenosa akvatičkih organizama. Uzorkovanja vrste *P. marinus* provodila su se kroz pet terenskih izlazaka u razdoblju od 2017. do 2019. godine na području šibenske luke, s usidrenog istraživačkog broda „BIOS DVA“ Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu u plitkom području uz obalu luke. Uz taksonomsku analizu odraslog mužjaka i ženke, koji se morfološki podudaraju s ranijim opisima vrste te određivanje brojnosti jedinki po uzorku, analizirani su i okolišni parametri, temperatura i salinitet. Zabilježene abundancije *P. marinus* u ovom istraživanju su vrlo niske (<60 jed. m^{-3}), unatoč noćnim uzorkovanjima kada bi u planktonu trebao biti brojniji s obzirom na složenu životnu strategiju koja uključuje bentički habitat preko dana, a planktonski tijekom noći. Uočena prisutnost ženki s jajima kao i kopepoditskih stadija (juvenila) ukazuje na uspostavu populacije na području luke, a s obzirom na izrazitu prilagodljivost vrste na nepovoljne uvjete za očekivati je da će se njezino širenje, koje je zasada neinvazivnog karaktera, nastaviti i u budućnosti. Trenutno nisu zabilježeni promijenjeni odnosi u strukturi lokalne zooplanktonske zajednice, niti u međusobnim brojčanim odnosima među skupinama. Stavlja se naglasak na daljnji monitoring šibenske luke u svrhu praćenja daljnjeg širenja i invazivnosti vrste *P. marinus* te na noćna uzorkovanja uz unapređenje metodike uzorkovanja.

(43 stranica, 16 slika, 5 tablica, 31 literaturni navod, jezik izvornika: hrvatski)

Ključne riječi:, kopepodi, nezavičajne vrste, *Pseudodiaptomus marinus*, balastne vode, Jadransko more

Mentor: Doc. dr. sc. Olja Vidjak, znanstvena savjetnica

Ocjenjivači: 1. Doc. dr. sc. Zvjezdana Popović Perković
2. Prof. dr. sc. Svjetlana Krstulović Šifner
3. Doc. dr. sc. Olja Vidjak

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Split
Department of Marine Studies
Graduate study Marine ecology and protection

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE APPEARANCE AND DISTRIBUTION OF THE NON-NATIVE SPECIES *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (COPEPODA, CALANOIDA) IN THE AREA OF THE PORT OF ŠIBENIK

Marta Skračić

Abstract

This thesis analyses the presence and distribution of non-indigenous calanoid copepod species *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 in the port of Šibenik, which is situated in the estuary of the river Krka. Considering the frequent and intensive maritime traffic in the port, it is higly likely that the species was introduced into the Adriatic Sea *via* balast water that gobally represents one of the main vectors of aquatic organisms' transfer. Samplings of *P. marinus* were performed through five sampling occassions, from 2017 to 2019 in the shallow coastal part of the port of Šibenik, from a docked research ship „BIOS DVA" of the Institute of Oceanography and Fisheries. Apart from the taxonomic analysis of adult male and female specimens, which morphologically matched with the older descriptions of the species, abundance determination, as well as environmental parameters such as temperature and salinity have also been analysed. Recorded abundances of *P. marinus* were very low (<60 jed. m^{-3}) during the research period, despite the night samplings when the species is presumably numerous in the plankton, because of its complex life strategy; bentic during the day and planctonic during the night. However, we also found adult ovigerous females and copepodite stages (juveniles) in the samples, which is indication of the population establishment in the port. Considering the remarkable adaptibility of *P. marinus* to unfavorable conditions, it is expected that the spreading of this species will continue in the future. Currently, disturbed relations in the zooplanton community structure and unusual relative proportions between the zooplankton groups haven't been recorded in the port. The focus is on the further monitoring of the port of Šibenik, with the purpose of tracking the invasion of the species *P. marinus*, along with the introduction of night samplings and the improvements of sampling methodology.

(43 pages, 16 figures, 5 tables, 31 references, original in: Croatian)

Keywords: copepods, non-indigenous species, *Pseudodiaptomus marinus*, water balast, Adriatic Sea

Supervisor: Olja Vidjak, PhD / Assistant Professor

Reviewers: 1. Zvjezdana Popović Perković, PhD / / Assistant Professor
2. Svjetlana Krstulović Šifner, PhD / Full Professor
3. Olja Vidjak, PhD / Assistant Professor

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1. Biološke invazije u morskim ekosustavima 1
1.2. Unos nezavičajnih morskih vrsta u europska mora 2
1.3. Sistematika, biologija i ekologija vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 5
1.3.1. Sistematska klasifikacija 5
1.3.2. Morfološka obilježja mužjaka i ženki vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 . 7
1.3.3. Ishrana, razmnožavanje i razvojni ciklus vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913.. 9
1.3.4. Biogeografija vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 11
1.3.5. Područja i vektori širenja 11
1.4. Dosadašnja istraživanja vrste *Pseudodiaptomus marinus* u Jadranskom moru 13
1.5. Svrha i ciljevi istraživanja 13
2. MATERIJALI I METODE 14
2.1. Područje istraživanja 14
2.2. Uzorkovanje i analiza zooplanktonske zajednice 15
3.3. Taksonomska analiza vrste *Pseudodiaptomus marinus* („*Camera lucida*“ ilustracije). 20
3. REZULTATI 24
3.1. Sastav lokalne zajedice mezozooplanktona i vremenska raspodjela vrste *P. marinus* na istraživanom području 24
3.2. Taksonomski opis vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato 1913 iz šibenske luke 28
4. RASPRAVA 34
5. ZAKLJUČCI 39
6. LITERATURA 40

1. UVOD

Biološka raznolikost danas je ozbiljno ugrožena kao rezultat ljudskih aktivnosti. Glavne prijetnje očuvanju biološke raznolikosti u svijetu su nagli porast stanovništva, klimatske promjene i globalno zagrijavanje, urbanizacija, prekomjerno iskorištavanje prirodnih resursa i degradacija okoliša te invazivne strane vrste, odnosno biološke invazije. Biološke invazije direktno utječu na brojnost domaćih (autohtonih, zavičajnih) vrsta putem mehanizama kao što su predacija, hibridizacija i kompeticija te drugim neizravnim i kaskadnim učincima (Simberloff i sur., 2013). Samo u Europi postoji oko 12.000 vrsta stranih biljaka i životinja, od kojih barem 15% ima potvrđen negativan utjecaj na biološku raznolikost (Vilà i sur., 2010).

Tradicionalne strategije očuvanja biološke raznolikosti danas se nalaze pred izazovom kombinirane prijetnje od rastućeg utjecaja klimatskih promjena i pojave invazivnih vrsta (Rahel i sur., 2008), naročito u morskim ekosustavima. Posljedice globalnih klimatskih promjena u oceanima su porast razine mora te promjene temperature i saliniteta, što pak može uzrokovati vrlo velike promjene u globalnoj i lokalnoj cirkulaciji, promjenu učestalosti i težine oluja, kao i promjenu ravnoteže u ciklusu ugljika, uključujući i promjenu pH morske vode (IPCC, 2007). Uz navedeno, antropogeno uzrokovano zagađenje i eutrofikacija predstavljaju dodatni stres morskim zajednicama u mnogim područjima, osobito u gusto naseljenom obalnom pojasu, a fizička degradacija okoliša (npr. uslijed jaružanja i opterećenja sedimentima) rezultira promjenama u bioti (Occhipinti-Ambrogi i Savini, 2003). Stoga lokalni čimbenici zajedno s globalnim mogu imati dubok utjecaj na rasprostranjenost stranih vrsta kao i na njihov uspjeh u invaziji.

1.1. Biološke invazije u morskim ekosustavima

Biološke invazije u morskim ekosustavima se odvijaju kroz brojne puteve, najčešće povezane s pomorskom trgovinom i transportom (Hulme i sur., 2008).

Unesene i invazivne vrste najprije se i najčešće javljaju i naseljavaju u lukama. Prijenos organizama putem brodova događa se kroz ispuštanje balastnih voda te obraštaj trupa i unutarnjih cijevi. Najveći broj organizama prenosi se putem ispuštanja balastnih voda, što je dio redovnog rada broda i procesa plovidbe. Posljednjih nekoliko desetljeća došlo je do povećanog broja ovako izazvanih invazija uslijed značajnih promjena u globalnom transportu

balasta; brojni brodovi sa sve većim volumenom balastnih voda pristižu iz svih svjetskih regija u sve kraćem vremenu, povećavajući tako brojnost, gustoću i stopu preživljavanja vrsta koje se prenose u balastnim vodama (Ruiz i sur., 1997).

U nastojanju smanjenja posljedica ovakvih translokacija morskih organizama, Međunarodna pomorska organizacija (IMO) je dala smjernice za kontrolu i upravljanje balastnim vodama. Tako je 2004. godine donesena Međunarodna konvencija o kontroli i upravljanju brodskim balastnim vodama i talozima (IMO, 2004), kao pravna osnova i formalni okvir kojim se obavezuju brodari na primjenu detaljnog plana nadzora i upravljanja vodenim balastom u cilju zaštite mora od nenamjernog zagađenje stranim organizmima i patogenima. Nakon više od desetljeća pregovora, Konvencija je stupila na snagu 2017. godine. Republika Hrvatska potpisnica je Konvencije od 2010. godine.

S ciljem primjene ovih načela, pokrenut je 2013. godine projekt BALMAS u okviru IPA ADRIATIC programa prekogranične suradnje, usmjeren na razvijanje regionalne strategije za upravljanje balastnim vodama u cilju zaštite Jadranskog mora. Budući da kontrola unesenih stranih i invazivnih vrsta nije moguća bez poznavanja mjesta na kojem se te vrste nalaze, unutar projekta provedeno je praćenje stanja u lukama koje omogućava rano otkrivanje invazivnih vrsta i olakšava mjere kontrole (Ninčević i sur., 2014). Paralelno se razvijao i koncept upozorenja brodovima da izbjegavaju područja sa štetnim organizmima za uzimanje balastnih voda (tzv. EWS, engl. *Early Warning System*), čime se značajno smanjuje mogućnost prijenosa štetnih organizama u druge luke i područja. Prevencija i rana detekcija ovih vrsta predstavljaju okosnicu trenutnih politika za zaštitu okoliša i održivo iskorištavanje resursa (Magaletti i sur., 2017).

Međutim, za sada ne postoji način za predviđanje ponašanja unesene vrste u ekosustavu budući da je stupanj invazivnosti rezultat sinergije između bogatstva autohtonih vrsta (biodiverziteta), prisustva praznih ekoloških niša i sposobnosti strane vrste da kolonizira nova staništa. Ovakav koncept podrazumijeva da je teško okupirati staništa s visokom bioraznolikosti, dok su zajednice koje su siromašne vrstama ili ekosustavi koji su pod utjecajem stresora nedvojbeno više podložni invazijama, primarno zbog manjka biotske otpornosti kao i praznih ekoloških niša podložnih kolonizaciji (Zenetos i sur., 2010).

1.2. Unos nezavičajnih morskih vrsta u europska mora

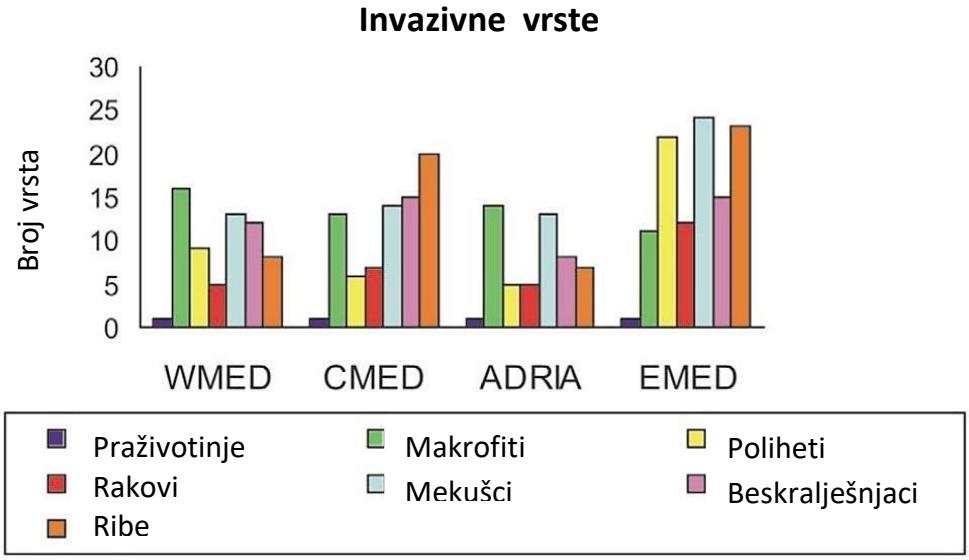
Podaci Europske agencije za okoliš (EEA) pokazuju da se u europskim morima trenutno nalazi 1416 stranih vrsta, od kojih je njih gotovo 81% unesene nakon 1950. godine. Brzina unosa neprekidno raste u svim regionalnim morima, a najugroženiji je Mediteran, posebno Egejsko-Levantinska regija u istočnom Mediteranu. Najveći broj novih vrsta unesenih u europska mora pripada beskralješnjacima (63%), među kojima su najzastupljeniji rakovi i mekušci (www.eea.europa.eu).

Među najpoznatijim planktonskim vrstama unesenim u europska mora su rebraš *Mnemiopsis ledyi* (morski orah) porijeklom iz Amerike koji je velikim dijelom uzrokovao slom ribarstva u Azovskom i Crnom moru (Ruiz i sur., 1997), zatim rebraš *Beroe ovata* također unesen u Crno i Azovsko more te račić škrgonožac *Cercopagis pengoi* koji je 1990-ih unesen u Baltičko more (Ojaveer i Lumberg, 1995). Među bentičkim organizmima poznata je invazivna tropska zelena alga *Caulerpa racemosa* koja se agresivno širi Mediteranom već od ranih 1990-ih, kao i srodna alga *Caulerpa taxifolia* te crvena epifitska alga *Chondria pygmanea* koja se pojavljuje i u najzapadnijem dijelu Jadrana (Pečarević i sur., 2013). Primjećeno je da hidromeduza *Muggiaea atlantica* progresivno zamjenjuje autohtonu vrstu *Muggiaea kochi* u obalnim vodama istočnog Jadrana dok je planktonska dvootvorka *Thalia orientalis* zamijenila prijašnju srodnu vrstu *T. democratica* u obalnom i otvorenom sjevernom Jadranu (Pečarević i sur., 2013). Kamenica *Crassostrea gigas,* porijeklom iz Pacifika, pronađena je u sjevernom Jadranu i često se nalazi u području marikulture, tako da je vektor larvi najvjerovatnije antropogenog profila (Pečarević i sur., 2013). Rakovi poput dekapodnog plavog raka *Callinectes sapidus* porijeklom iz Atlantika (Dulčić i sur, 2010) i škampa *Hippolyte prideauxiana* koji je brojan u Egejskom i Jonskom moru (Kirinčić, 2006), rasprostranili su se u Mediteranu pa tako i u Jadranu. Neke od riba antropogeno unesenih u Jadran su ribe atlantskog porijekla, kao što su anđeoska kraljica *Holacanthus ciliaris* i kreolska vučica *Paranthias furcifer* (Dulčić i Dragičević 2013a, 2013b), zatim patuljasti patkoglavac *Elates ransonnettii* te japanski pagar *Pagrus major* (Dulčić i Kraljević, 2007; Dulčić i sur., 2010), a među najnovijim su atlantski trorepan *Lobotes surinamensis,* plavi trkač *Caranx crysos,* šiljatozuba murina *Enchelycore anatina* i srebrenopruga napuhača *Lagocephalus sceleratus* (Dulčić i sur., 2014). Prvi lesepsijski migrant zabilježen u Mediteranu, odnosno istočnom Jadranu bila je indopacifička srebrna plotica *Pampus argenteus* (Dulčić i sur., 2004).

S ciljem cjelovite zaštite europskog morskog okoliša i njegove bioraznolikosti, donesena je 2008. godine odluka Europske Komisije pod nazivom Okvirna direktiva o morskoj strategiji (ODMS, engl. *MSFD,* Marine Strategy Framework Directive; 2008/56/EC).

Između ostalog, bavi se i problematikom unosa stranih i/ili invazivnih vrsta i njihovog statusa u svakoj podregiji Mediterana. Odlukom je predviđeno da svaka zemlja članica pomno prati broj i utjecaj nezavičajnih vrsta, te poduzima mjere za sprečavanje njihovog unosa i širenja. Naročito se to odnosi na tzv. IAS, odnosno invazivne strane vrste (engl. *Invasive Alien Species*) koje pokazuju posebno negativan utjecaj na zavičajnu zajednicu i/ili ljudsko zdravlje.

Znanstvenici su do sada utvrdili ukupno 134 morske vrste koje su klasificirane kao invazivne ili potencijalno invazivne u Mediteranskim subregijama: 108 ih je prisutno u istočnom Mediteranu (EMED), 75 u centralnom (CMED), 53 u Jadranu i 64 u zapadnom Mediteranu (WMED) (Slika 1). WMED udomaćuje najviše makrofita, dok EMED prima najveći dio mnogočetinaša, rakova, mekušaca i riba. Ukupno je nađeno 955 stranih vrsta, od kojih je većina unesena u EMED (718), nešto manje u WMED (328) i CMED (267) te najmanje u Jadran (171). Vrste koje su uspostavile populaciju čine 57,6% od ukupnog broja stranih vrsta u WMED, 51,5%, u CMED, 52,6% u Jadranu i 56,3% u EMED (Zenetos i sur, 2010).



Slika 1. Zastupljenost invazivnih ili potencijalno invazivnih vrsta po taksonomskim kategorijama. WMED=zapadni Mediteran, CMED=centralni Mediteran, EMED=istočni Mediteran, ADRIA=Jadran (Izvor: Zenetos i sur., 2010).

Procjenjuje se da gotovo 60% stranih vrsta u Mediteranu dolazi kroz Sueski kanal. Većinom su to vrste toplih voda, koje potječu iz (sup)tropskih mora. Termofilne vrste (vrste

Indo-Pacifika, Indijskog oceana, Crvenog mora, tropskog Atlantika, tropskog Pacifika, cirkum(sup)tropske vrste) najviše su zastupljene u istočnom Mediteranu, a najmanje u Jadranu. Vrste hladnih voda (cirkumborealne vrste, vrste Sjevernog Atlantika i Pacifika) čine mali postotak, a brojnije su u Jadranu nego u istočnom Mediteranu (Zenetos i sur, 2010). Vektori unosa stranih vrsta u svijetu, kao što su brodski promet i akvakultura, nisu glavni načini unosa za Mediteran, već su to umjetno stvoreni morski koridori (Sueski kanal), a smatra se da su klimatske promjene i posljedični porast temperature vode dodatno uzrokovali dramatične promjene u mediteranskom okolišu, koji sada postaje optimalno stanište za termofilne indopacifičke vrste (Zenetos i sur, 2010).

1.3. Sistematika, biologija i ekologija vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913

1.3.1. Sistematska klasifikacija

Sistematska klasifikacija vrste prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1. Klasifikacija vrste *Pseudodiaptomus marinus* (Izvor: WoRMS, 2019).

Carstvo:	Animalia
Koljeno:	Crustacea
Razred:	Copepoda
Red:	Calanoida
Porodica:	Pseudodiaptomidae
Rod:	*Pseudodiaptomus*
Vrsta:	*Pseudodiaptomus marinus*

Rod *Pseudodiaptomus* vjerojatno potječe iz Indo-malajske regije Indopacifičkog bazena te danas obuhvaća 80 vrsta od kojih je pet vrsta opisano u posljednjih 10 godina. Rod je otkrio Herrick (1884). Nekoliko vrsta su endemske uz obale Amerike, dok je duž obala Afrike zabilježena najniža raznolikost roda. Smatra se da su daljnje širenje i specijacija roda

Pseudodiaptomus uglavnom posljedica ljudskih aktivnosti kao što su nekontrolirano ispuštanje balastnih voda brodova i transport organizama u akvakulturi (Sabia i sur., 2015).
Rod *Pseudodiaptomus* podijeljen je u 3 različite skupine: *Nudus*, *Americanus* i *Ramosus* (Walter, 1989), a vrsta *Pseudodiaptomus marinus* smještena je unutar grupe unesenih, odnosno *Ramosus* (Tablica 2).

Vrsta *P. marinus* Sato,1913 je porijeklom iz azijskih voda, a prvi put je opisana iz uzoraka sakupljenih uz zapadnu obalu japanskog otoka Hokkaido (Sato, 1913). Prirodno je rasprostranjena u estuarijima i obalnim vodama istočne Azije, uključujući Kinu, Koreju i Japan (Ohtsuka i sur., 2018). Vrsta je poznata po uspješnoj invazivnosti i otpornosti na nepovoljne uvjete (Deschutter i sur., 2018). Prva invazija zabilježena je 1960-ih, kada je *P. marinus* prenesen putem balastnih voda u akvatorij Havajskog otočja. Nakon početne faze prilagodbe, vrsta *P. marinus* često postaje vrlo brojna komponenta autohtone zooplanktonske zajednice (Lučić i sur, 2015).

Tablica 2. Nudus, Americanus i Ramosus grupe vrsta roda *Pseudodiaptomus* i podgrupe skupina vrsta. F=zabilježene u slatkovodnim staništima; U=uzorci pohranjeni u USNM (Smithsonian National Museum of Natural History); A=vrste Atlantskog oceana; P=vrste Pacifika; Ur=broj urosomalnih segmenata ženki (Izvor: Walter i sur., 1989).

	F	**U**	**A**	**P**	**Ur**
Nudus	+	+	+	-	4
1) *P. gracilis* (Dahl, 1894)					
Americanus					
''*acutus*-subgroup''					
2) *P. acutus* (Dahl, 1894)	-	+	+	-	4
3) *P. cristobalensis* Marsh, 1913	-	+	-	+	?
4) *P. galapagensis* Grice, 1964	-	+	-	+	4
5) *P. richardi* (Dahl, 1894) [=*P.*	+	+	+	-	4

richardi inaequalis Brian, 1926]					
6) *P. wrighi* Johnson, 1964 [=*P. acutus var. leptopus* Loeffler, 1963]	-	+	-	+	4
''*pelagicus*-subgroup''					
7) *P. cokeri* Gonzalez i Bowman, 1965					
8) *P. culebrensis* Marsh, 1913	-	+	+	-	4
9) *P. euryhalinus* Johnson, 1939	-	+	-	+	3
10) *P. longispinosus* sp. nov.	-	+	-	+	2
11) *P. marshi* Wright, 1936	-	+	-	+	4
12) *P. panamensis* sp. nov.	-	+	+	-	3
13) *P. pelagicus* Herrick, 1884 [=*P. americanus* Wright, 1937 i *P. coronatus* Williams, 1906]	-	+	-	+	3
	-	+	+	-	3
14) *P.* sp. (ženka)	-	-	-	+	4
Ramosus					
''*hickmani*-subgroup''					
15) *P. marinus* Sato, 1913	-	+	-	+	4

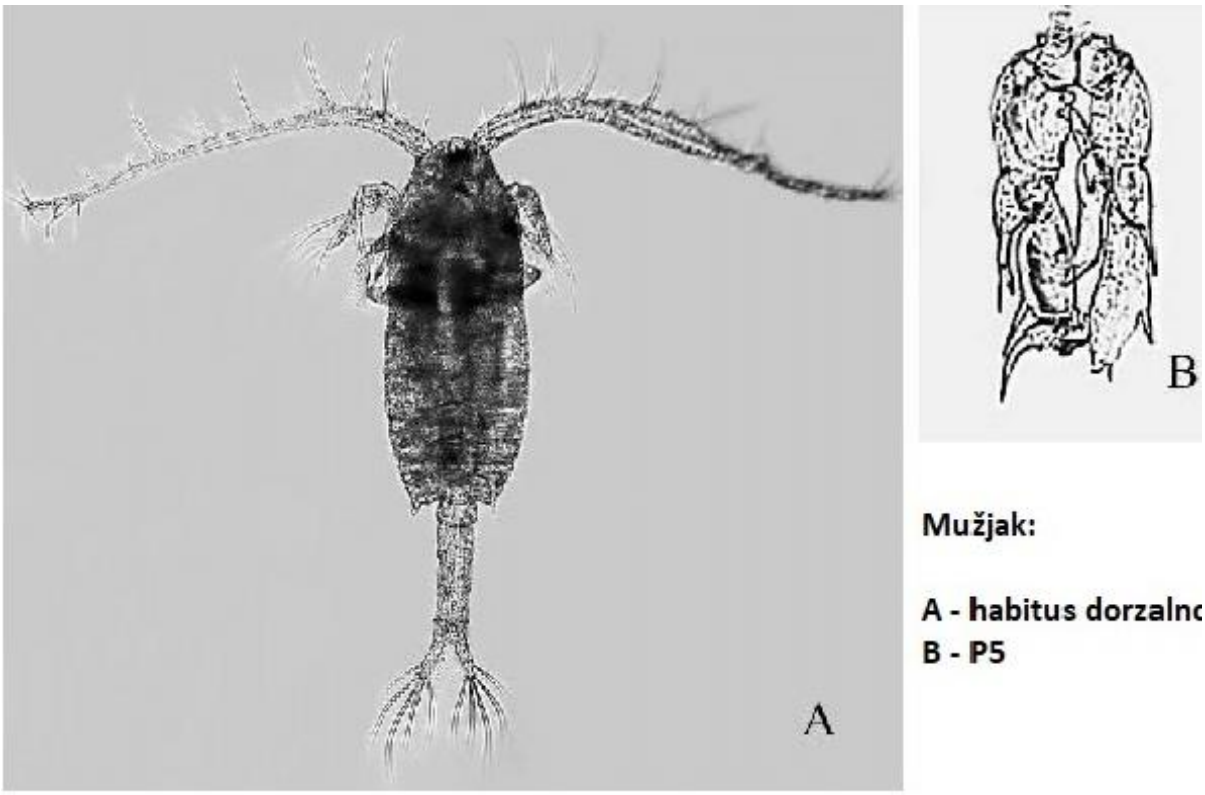
1.3.2. Morfološka obilježja mužjaka i ženki vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913

Opći opis roda *Pseudodiaptomus* dao je Walter (1986), a specifična determinacija vrsta zahtjeva pregled petog para nogu (P5), naročito kod mužjaka (Brylinski i sur., 2012). „Ramosus“ grupu, kojoj pripada *i P. marinus,* karakteriziraju P5 kod kojih su endopoditi (unutrašnje grane) promjenjivo račvasti kod obje noge, a egzopoditi bez reda spinula na prednjoj površini kod ženki (Walter i sur., 1989). Primjerci vrste *P. marinus* s otoka Mauricijusa i oni iz područja oko Japana i Havaja su definirani kao ekofenotipovi na temelju manjih morfoloških razlika koje postoje između populacija iz različitih oceana (Sabia i sur., 2015). Opaženo je da ih sve karakterizira prisustvo lijevih i desnih endopodita na petim nogama mužjaka od kojih je desni rašljast ili u obliku slova 'Y' (Slika 2), a najviše se ističu manje razlike u petim nogama. Mnoge morfološke karakteristike, poput setacije plivaćih nogu, detalja usnih djelova i antena koje su bitne u određivanju veza između vrsta roda *Pseudodiaptomus*, poznate su kod samo malog broja vrsta, tako da se današnje taksonomske studije temelje najvećim dijelom na građi petog para plivaćih nogu kod mužjaka (Grindley i Grice, 1969).

Pseudodiaptomus marinus je relativno mala vrsta prosječne dužine tijela od 1,1 do 1,8 mm (Sabia i sur., 2015). Ženke su najčešće dužine od 1,3 do 1,8 mm, a prednja i stražnja regija tijela (prosoma i urosoma) su u dužinskim proporcijama 65% i 35% (Brylinski i sur, 2012). Urosomu čini 4 segmenta i dužina joj je manja od 2/3 ukupne dužine prosome (Grindley i Grice, 1969)**.** Genitalni segment je blago asimetričan (Brylinski i sur, 2012), s blagom izbočinom na ventralnom dijelu.

Mužjaci su dužine 1,3 do 1,5 mm i imaju sličan oblik tijela kao i ženka, s manje izraženim genitalnim segmentom (Brylinski i sur., 2012). Prosoma je slična onoj u ženki, a urosoma ima 5 segmenata, dužina joj je polovica dužine prosome, a prvi i zadnji segment su kraći od ostalih.

Ženka vrste *P. marinus* nosi jaja u jajnoj vrećici koja je pričvršćena za genitalni segment (Sabia i sur., 2015). U laboratoriju su uočena jaja pepeljaste boje, izlaze preko genitalne pore ženke (vjerojatno oplođena), a obavijena su membranom jajčane vrećice. Sam proces izlijeganja jaja kod vrste *P. marinus* nije istražen detaljno, ali vjerojatno sliči onom opisanom u vste *Pseudocalanus minutus*, gdje je uočeno da ženke zaljuljaju svoj abdomen i kreiraju struju vode pomoću plivaćih nogu kako bi pospješile izlazak nauplija iz vrećice (Uye i sur., 1982). Strategija nošenja jaja znatno pojačava stopu preživljavanja od jaja do trećeg nauplijskog stadija NIII (~ 94%) (Sabia i sur., 2015).



Slika 2. *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913: A - adultni mužjak dorzalno i B - P5 (Izvor: Gubanova i Altukhov, 2016).

1.3.3. Ishrana, razmnožavanje i razvojni ciklus vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913.

Pripadnici roda *Pseudodiaptomus* obično žive u zonama maksimalnog turbiditeta/zamućenosti i hrane se uglavnom detritusom. Vrsta *P. marinus* se može hraniti i detritusom i suspendiranom tvari, proširujući tako svoj hranidbeni spektar u ovisnosti o različitim uvjetima ishrane u pojedinom okolišu (Sabia i sur., 2015). Većina studija ishrane obavljena je na odraslim ženkama, a uočeno je da stvaraju hranidbene struje. Po hranidbenim navikama klasificiramo ga kao herbivornu i detrivornu vrstu. Tijekom dana, uslijed epibentičkog načina života, *P. marinus* vjerovatno se hrani organskim detritusom koji se taloži na dnu, dok se tijekom noći kreće duž vodenog stupca, vjerojatno tražeći drugačiji plijen (Sabia i sur., 2015).

Uye i sur. (1982) su pokazali da su stope razmnožavanja kod *P. marinus* pod znatnim utjecajem količine hrane i temperature. U uvjetima sa suviškom hrane, na stope

razmnožavanja znatnije utječe temperatura, što je potvrđeno i laboratorijskim eksperimentima kod ženki (Slika 3).



Slika 3. Sezonski ciklus dnevne proizvodnje jaja kod ženki vrste *P. marinus* (Izvor: Uye i sur., 1982).

Proučavajući dužinsko-masene veze i stope razvoja pri različitim temperaturama unutar kontroliranih laboratorijskih uvjeta, određena je i specifična stopa rasta vrste *P. marinus*. Trajanje faze od ličinačkih stadija NII (nauplij) do CII (kopepodit) bilo je kratko i konstantno, nakon čega je razvoj bio manje linearan; mužjaci su se razvili brže od ženki u kasnim juvenilnim stadijima CIV i CV. Post-embrionalni razvoj vrste *P. marinus* nije bio potpuno izokronalan. Specifična stopa rasta bila je najviša u kopepoditnim stadijima, nakon kojih su slijedili naupliji i adultne ženke (=stopa proizvodnje jaja). Porast u težini ove vrste eksponencijalan je između jaja i adultnog mužjaka. Ženke postaju teže nakon CIII, ali razvijaju se sporije, tako da su njihove specifične stope rasta otprilike iste kao u mužjaka.

Dnevna proizvodnja vrste *P. marinus* procijenjena je kao suma individualnih stadija - stadija specifične stope rasta i stadija specifične abundancije u prirodi. Proizvodnja se sezonski mijenjala s temperaturom vode i biomasom populacije. Omjer dnevne proizvodnje i

biomase (P/B) povećavao se linearno s temperaturom (Uye i Kasahara, 1983). Uslijed kolebanja specifične stope rasta između stadija *P. marinus*, struktura populacije značajno utječe na P/B omjere. Omjeri za nezrele stadije su uvijek viši od onih za cijelu populaciju pri odgovarajućoj/istoj temperaturi, s obzirom da su specifične stope proizvodnje postignute od strane mužjaka znatno niže unatoč većoj težini njihova tijela. Stope proizvodnje jaja kod vrste *P. marinus* su niže od stopa somatskog rasta, gotovo polovica srednje vrijednosti za kopepodite (Uye i Kasahara, 1983).

1.3.4. Biogeografija vrste *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913

Rod *Pseudodiaptomus* je započeo s koloniziranjem Mediteranskog bazena tek nedavno i zabilježen je po prvi put 2011. godine (de Olazabal i Tirelli, 2011). Između brojnih kongeneričkih predstavnika, *P. marinus* je najviše proširio svoju distribuciju; prisutan je na višim geografskim širinama i ima dužu invazivnu prošlost (literaturni podatci o invaziji započinju od 1950.), okupirajući 10 različitih područja (Sabia i sur, 2015).

Uspoređujući vrstu *P. marinus* sa srodnim poznatim invazivnim vrstama *P. forbesi i P. inopinus* te vrstom *P. annandalei*, zasad nezabilježenom izvan svog autohtonog područja, može se zaključiti da *P. marinus* ima najširu distribuciju, zahvaljujući širim rasponima tolerancije na okolišne faktore (temperaturu i salinitet) i većim brojem "invazivnih“ osobina (Sabia i sur., 2015) (Grindley i Grice, 1969). Međutim, ova vrsta gotovo nikad nije dominantna u novom okolišu. Nisu pronađeni spavajući ('resting') stadiji unutar porodice Pseudodiaptomidae, što čini disperziju ovih vrsta putem struja malo vjerojatnom (Sabia i sur., 2015).

1.3.5. Područja i vektori širenja

Nakon prvog opisa u unutrašnjem moru Japana (Inland Sea), *P. marinus* je zabilježen u različitim regijama istog bazena kao autohtoni stanovnik, sve dok se nije pojavio 1964. u braktičnim vodama oko Havaja (Sabia i sur., 2015) gdje se prvi put i spominje kao unesena (strana, alohtona) vrsta (Jones, 1966). Nakon toga je otkriven duž zapadne obale Sjeverne Amerike (Ohtsuka i sur., 2018), a zatim u luci Louis na otoku Mauricijus u Indijskom oceanu (Sabia i sur, 2015). Pojava *P. marinus* u zaljevu Mission i laguni Agua Hedionda (Kalifornija)

zabilježena je kao prvo otkriće ove vrste u SAD-u (Sabia i sur., 2015). Tijekom istog perioda, zabilježen je i sjevernije na obali Kalifornije (Sabia i sur., 2015) te 10 godina kasnije u estuariju San Francisco (Sabia i sur., 2015). *P. marinus* je 1998. prvi put nađen u obalnom području zaljeva Todos Santos (Mexico), nakon čega je tu uspostavio populaciju (Sabia i sur., 2015). Od nedavno se širi europskim obalnim vodama na području Atlantskog oceana, Sjevernog mora i Mediterana (Ohtsuka i sur., 2018) te je već zabilježen u vodama kod Pirenejskog poluotoka, u Nizozemskom akvatoriju, zaljevu German Bight, uz obale Francuske i u Jadranu (Slika 4) (Deschutter i sur, 2018).

Ispuštanje balastnih voda brodova je jedan od glavnih vektora koji omogućuje prijenos ovih organizama na duge staze (de Olazabal i sur., 2011), nakon čega može doći do uspostave njihove trajne populacije daleko od autohtonih raspona te daljnjeg širenja areala putem kolonizacije i migracija (Deschutter i sur., 2018).



Slika 4. Rasprostranjenost invazivnog kalanoidnog kopepoda *P. marinus* u europskim morima: O Gravelines (Francuska) (Brylinski i sur., 2012); ◊ (crveno obojan) Calais

(Francuska) (Brylinski i sur., 2012); ◖ Biskajski zaljev (Francuska) (Brylinski i sur., 2012); ▪ i ▫ južno Sjeverno more (Jha i sur., 2013); ◉ Sjeverno more (ekonomska zona Njemačke) (Jha i sur., 2013); ⊗ Rimini (Italija) (de Olazabal i Tirelli, 2011); ◊ (crno obojan) Monfalcone (Italija) (de Olazabal i Tirelli, 2011); ✷ Berre laguna (Francuska) (Deply i sur., 2012); ✱ jezera Faro i Ganzirri (Italija); ○ Napuljski zaljev (Italija); ● jezero Fusaro (Italija); Marina di Carrara (Italija); ▪ Tršćanski zaljev (Italija); ✚ Bilbao (Španjolska) (Izvor: Sabia i sur., 2015).

1.4. Dosadašnja istraživanja vrste *P. marinus* u Jadranskom moru

Pseudodiaptomus marinus je vrlo vjerojatno unesen u Jadran putem ljudske aktivnosti vezane uz brodski promet ili akvakulturu (Zenetos i sur., 2010). Vrsta je prvi put locirana u Jadranu uz talijansku obalu blizu Riminija 2007. godine te u rashladnom kanalu Locavaz u blizini luke Monfalcone 2009. godine (sjeverni Jadran) (de Olazabal i Tirelli, 2011). Nakon toga, pronađena je u nekoliko drugih jadranskih obalnih lokaliteta između 2011. i 2013., između ostalog i u Tršćanskom zaljevu (Sabia i sur., 2015). U istočnom dijelu Jadrana, *P. marinus* zabilježen je po prvi put u luci Koper u Sloveniji 2015. godine, i to u većoj koncentraciji nego u prethodnim uzorcima što je predstavljalo četvrti nalaz ove vrste u Mediteranu, a treći u Jadranskom moru (Lučić i sur., 2015).

Zooplanktonske studije provedene u sklopu BALMAS projekta tijekom usporednog monitoringa zooplanktonskih zajednica u jadranskim lukama detektirale su pet nezavičajnih (NIS) vrsta. Od 10 istraženih luka u Jadranu, u njih 7 su zabilježene nezavičajne vrste zooplanktona (70%), a sve identificirane vrste pripadale su podrazredu Copepoda. *P. marinus* je zabilježen u lukama u Veneciji, Trstu i Kopru (Vidjak i sur., 2018).

Abundancija vrste *P. marinus* jako je varijabilna među različitim lukama, a zbog specifične dnevno-noćne raspodjele u vodenom stupcu uvelike ovisi i o vremenu uzorkovanja (Lučić i sur., 2015). Međutim, obzirom da je već pronađen u tri luke u Jadranu, posebna pažnja trebala biti usmjerena na njegovo očito širenje, i zasad nepoznat utjecaj na lokalni ekosustav (Vidjak i sur., 2018).

1.5. Svrha i ciljevi istraživanja

Osnovna svrha rada je analizirati dostupne podatke o nezavičajnoj vrsti kopepoda *Pseudodiaptomus marinus* na području Šibenskog zaljeva u razdoblju od 2017. do 2019. godine.

Specifični ciljevi rada uključuju:

1. Detaljno opisati odrasle primjerke oba spola iz šibenskog zaljeva uz popratne originalne crteže napravljene uz pomoć mikroskopa i opreme za crtanje („*camera lucida*“)

2. Analizirati brojnosti i rasprostranjenost vrste *P. marinus* u sakupljenim uzorcima planktona na postajama u šibenskom zaljevu.

3. Donijeti zaključke o eventualnom utjecaju ovog nezavičajnog kalanoidnog kopepoda na zavičajne zooplanktonske vrste na temelju relativnih odnosa u zooplanktonskoj zajednici na istraživanom području.

2. MATERIJALI I METODE

2.1. Područje istraživanja

Luka Šibenik (Slika 5) jedna je od najstarijih i najbolje zaštićenih luka na hrvatskom dijelu jadranske obale. Nalazi se na ušću rijeke Krke, koje je dijelom uključeno u Nacionalni park Krka zbog slikovitih slapova Krke, sedrenih barijera biogenog podrijetla te dugog i uskog ušća. Ušće ima dva proširenja: Prokljansko jezero i područje šibenske luke. Luka je prirodno zaštićena od valova i vjetrova, a pristupa joj se kanalom Sv. Ante koji je dugačak 2700 m i širok 120-300 m. Luka je duga 10 km, široka 300-1200 m, dubine od 8 do 40 m.

Luka Šibenik d.o.o. primarni je koncesionar za obavljanje lučkih djelatnosti. Luka ima pet terminala:

1. terminal za putnički - trajektni promet
2. terminal za obradu rasutih tereta (uvoz)
3. terminal za obradu rasutih tereta (izvoz)
4. terminal za opći i rasuti teret
5. drvni terminal

Maksimalna duljina broda koji se može privezati na terminalu za putnički trajektni promet iznosi 250 m, a maksimalni gaz iznosi 10 m, širina i visina bez ograničenja.



Slika 5. Područje istraživanja - šibenska luka (Izvor: shorturl.at/djqxC).

2.2. Uzorkovanje i analiza zooplanktonske zajednice

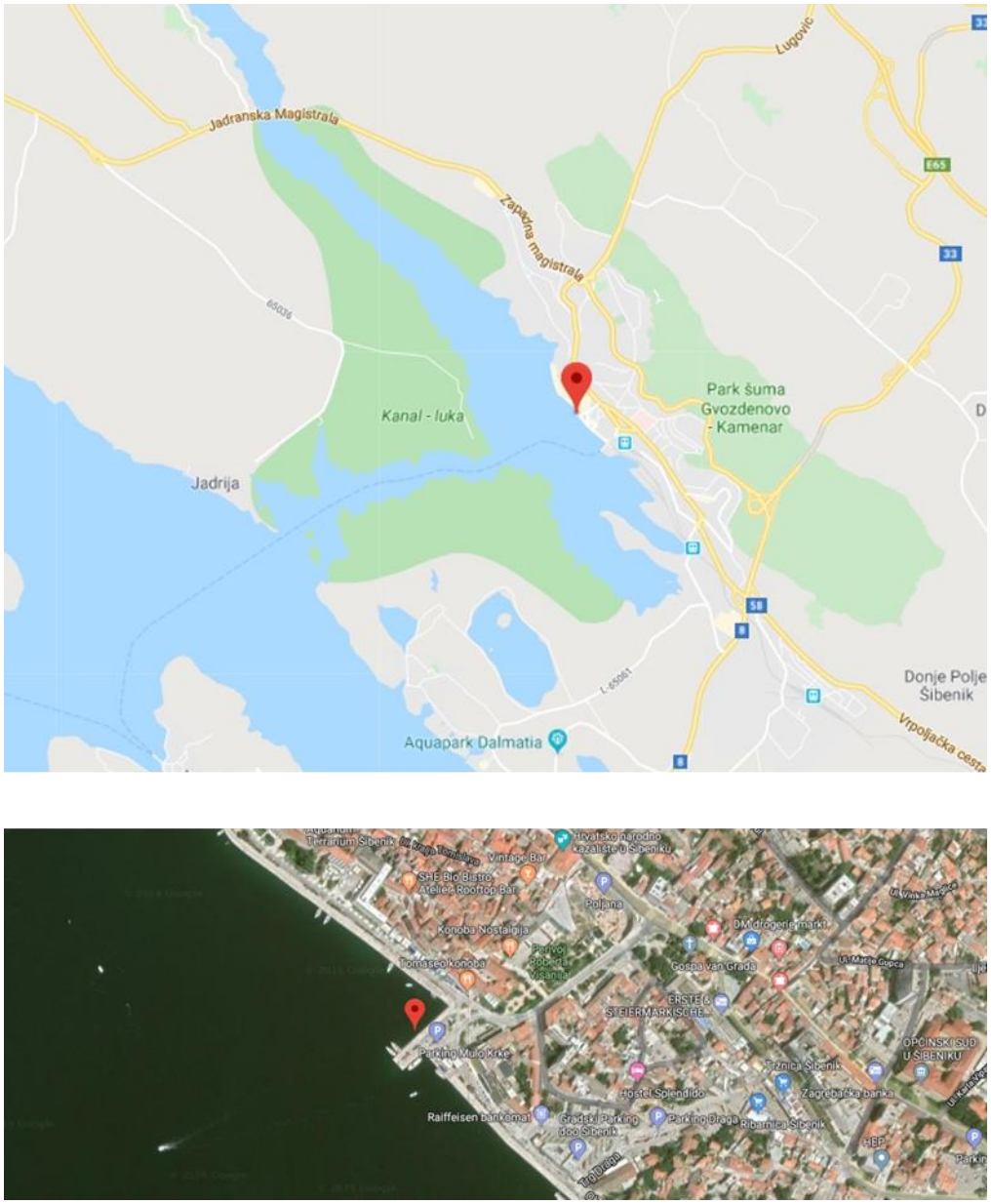
Budući da za sada ne postoji zakonom propisan obavezni monitoring stanja u hrvatskim lukama, uzorci planktona na području luka prikupljaju se u okviru projekata Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu usmjerenih na ispitivanje elemenata kvalitete morske vode u priobalju (npr. Nadzorni i operativni monitoring prijelaznih i priobalnih voda prema Okvirnoj direktivi o vodama, 2000/60/EC).

Uzorkovanje je provedeno u razdoblju od 2017. do 2019. godine na području šibenske luke (Slika 6), vertikalnim potezima planktonske mreže finoće svile 53 μm i promjera gornjeg obruča od 35 cm (Slika 7) s usidrenog istraživačkog broda „BIOS DVA“ Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu u plitkom obalnom području. Raspored uzorkovanja naveden je u Tablici 3.

Tablica 3. Podaci o uzorkovanju za vrstu *P. marinus* u šibenskoj luci u istraživanom razdoblju.

Godina	Datum	Sat	Metoda uzorkovanja	Postaja	Dubina uzorkovanja (m)	Tip staništa

2017.	6.02.	19:00	planktonska mreža, 53 mikrometara; vertikalni poteg	ŠB luka 1	0-8.5	Estuarij, luka
2018.	6.04.	20:55	planktonska mreža, 53 mikrometara; vertikalni poteg	ŠB luka 1	0-8.5	Estuarij, luka
2018.	16. 06.	22:10	planktonska mreža, 53 mikrometara; vertikalni poteg	ŠB luka 1	0-8	Estuarij, luka
2019.	5. 04.	20:45	planktonska mreža, 53 mikrometara; vertikalni poteg	ŠB luka 1	0-6	Estuarij, luka
2019.	31. 07.	22:45	planktonska mreža, 53 mikrometara; vertikalni poteg	ŠB luka 1	0-6	Estuarij, luka



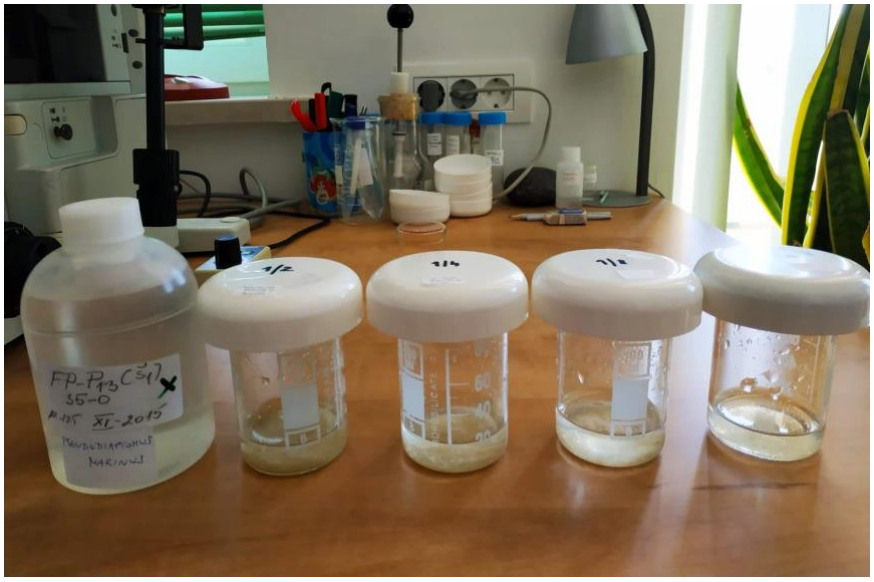
Slika 6. Položaj postaje uzorkovanja u šibenskoj luci (Izvor: shorturl.at/twGR2).

Uzorci zooplanktona fiksirani su u 2,5% formalinu, prethodno neutraliziranim s $CaCO_3$. Zooplanktonski organizmi su prebrojavani i određivani u poduzorcima (1/4-1/16) (Slika 8), a čitav je uzorak pregledan za rijetke vrste. Primjerci vrste *Pseudodiaptomus marinus* također su pobrojani u čitavom uzorku. Za brojenje i identifikaciju organizama korištene su staklene komorice i inverzni mikroskop (Olympus IX51), pri povećanjima od 40x-200x (Slika 9). Analizirano je cijelo dno staklene komore, a brojnost organizama je preračunata uz pomoć faktora mreže i izražena kao broj jedinki po kubičnom metru ($ind.m^{-3}$).

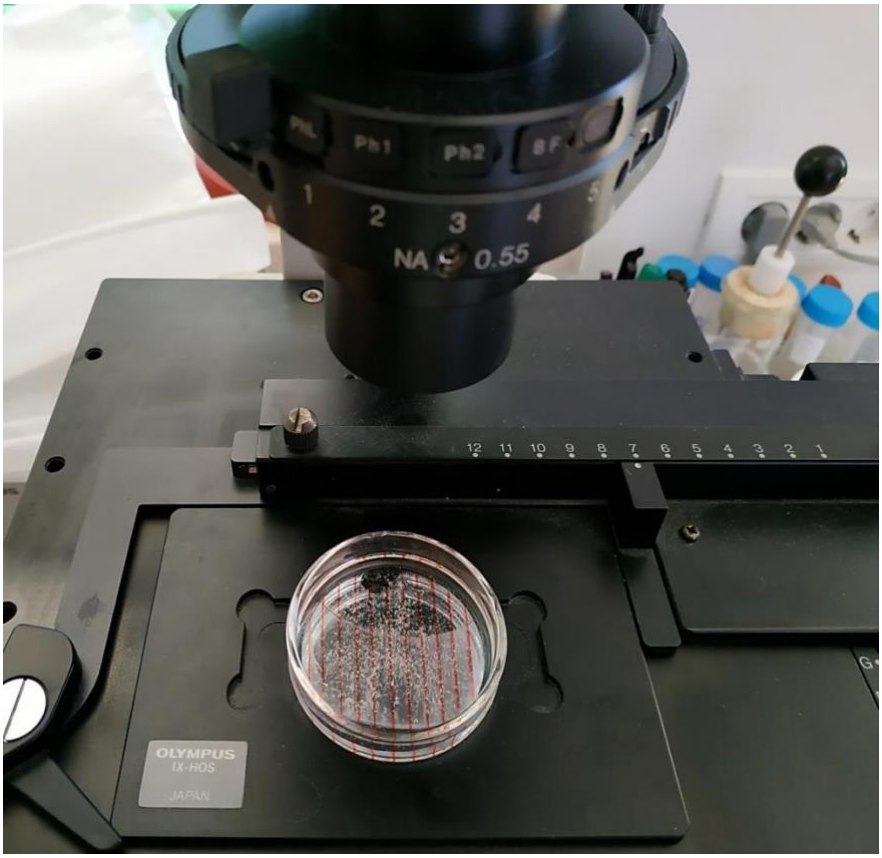


Slika 7. Planktonska mreža za uzorkovanje zooplanktona (Izvor: Marta Skračić).





Slika 8. Postupak pripreme poduzoraka za mikroskopiranje „splitting“ metodom (Izvor: Marta Skračić).



Slika 9. Inverzni mikroskop Olympus IX51 za brojenje i identifikaciju organizama u staklenoj komori (Izvor: Marta Skračić).

Podaci za površinske vrijednosti temperature i saliniteta mjerene SeaBird SBE-25 CTD sondom (SeaBird Electronics, Inc. Washington, USA) na području Šibenskog zaljeva tijekom zimskih (veljača 2017.), proljetnih (travanj 2018.) i rano- ljetnih (lipanj 2018.) temperaturnih uvjeta u moru dobiveni su iz baze institutskih podataka za područje estuarija rijeke Krke. Najviše površinske temperature mora zabilježene su tijekom lipnja 2018. (22,3^{o}C), a najniže tijekom veljače 2017. (8,3^{o}C). Površinski salinitet bio je najniži u travnju 2018. (4,76) kao rezultat intenzivnog dotoka Krke, a najviši u lipnju 2018. (15,96).

3.3. Taksonomska analiza vrste *P. marinus* („*Camera lucida*“ ilustracije)

Mužjaci i ženke vrste *P. marinus* izolirani su pomoću pipete iz uzoraka zooplanktona, a zatim pregledani svjetlosnim mikroskopom (Olympus BH-2) (Slika 10). Za identifikaciju su korišteni slijedeći ključevi i opisi vrste: Grindley i Grice (1969), Brylinski i sur. (2012), Tanaka (1966) te on-line baza za identifikaciju kopepoda (Razouls i sur. (2005-2019), dostupno na http://copepodes.obs-banyuls.fr/en).

Za provjeru bitnih taksonomskih značajki izvršena je sekcija mužjaka i ženki u kapljici glicerola, koristeći iglice za sekciju i stereomikroskop pod povećanjem od 40x (WILD), a privremeni preparati su pripremljeni u glicerolu. Prije sekcije, organizmi su djelomično očišćeni natapanjem u nekoliko kapi mliječne kiseline (min. 88% $C_3H_6O_3$) tijekom 24 sata. Mjerenje je obavljeno na mikroskopu uz korištenje mikrometarske skale.

Crteži habitusa i ostalih dijelova bitnih u determinaciji vrste su napravljeni na Olympus BH2 svjetlosnom mikroskopu pomoću nastavka za crtanje („*drawing tube*“ ili „*camera lucida*“), pod povećanjem od 100 x i uz upotrebu faznog kontrasta. Upotreba nastavka za crtanje omogućava vizualno superponiranje slike s mikroskopa na sa strane postavljeni osvijetljeni papir te detaljno ručno trasiranje olovkom svih dijelova istraživanog organizma na taj papir u stvarnim proporcijama. Gotove ilustracije precrtane su na gusti prozirni papir koristeći rapidografe za crtanje različitih debljina, za označavanje unutrašnjih i vanjskih struktura. Ilustracije su detaljno opisane, a korištena terminologija slijedi Huys i Boxshall (1990). Objašnjenja taksonomskih naziva korištenih pri opisu navedena su u Tablici 4 abecednim redom.



Slika 10. Svjetlosni mikroskop Olympus BH-2 opremljen s cijevi za crtanje („*camera lucida*“) (Izvor: Marta Skračić).

Tablica 4. Definicije taksonomskih naziva korištenih pri opisu jedinki vrste *Pseudodaptomus marinus* (prema https://research.nhm.org/glossary/all.html)

Naziv	Definicija
Antenule (A1)	Prvi par antena kod kopepodnih rakova
Analni segment	Zadnji tjelesni segment, tipično nosi analni otvor i parne kaudalne ramuse
Anteriorno	Usmjereno prema naprijed ili vidljivo s prednje strane
Baza	Drugi segment protopoda kod plivaćih nogu kopepodnih rakova, nosi endopodit i egzopodit
Biramni	Kod člankonožaca, tjelesni privjesak građen od dvije grane (ramusa), tipično od egzopodita i endopodita

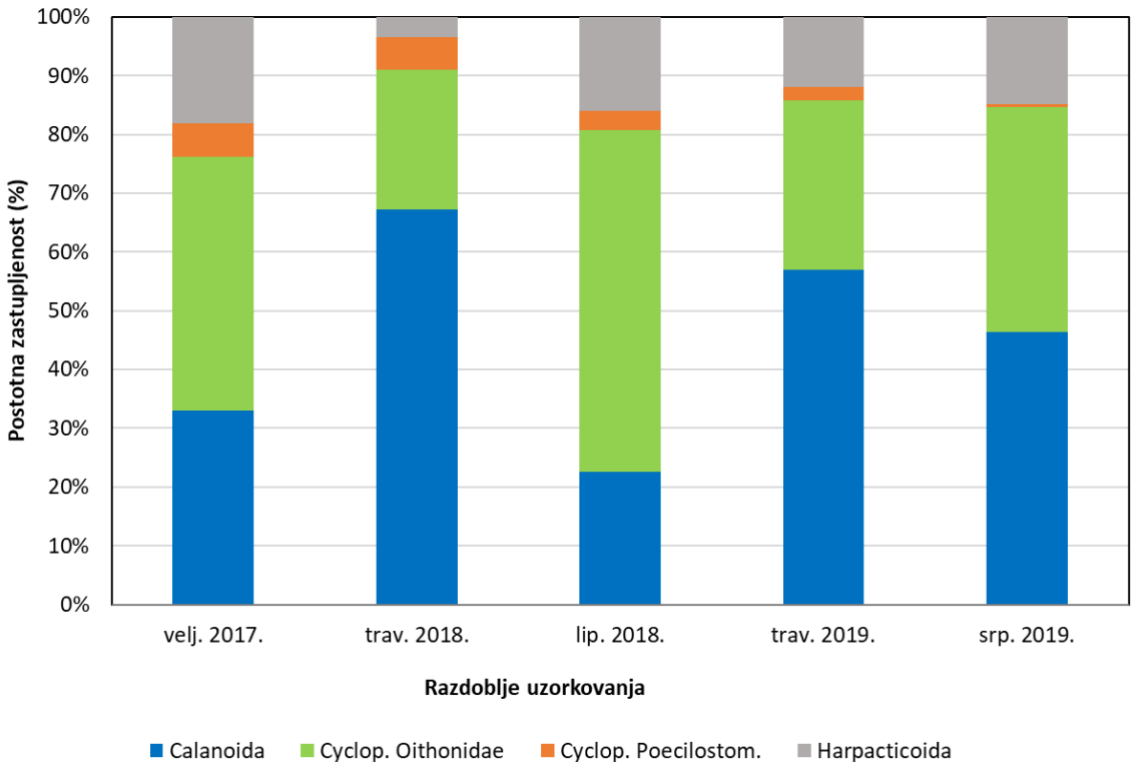
Cefalosom	Prvi segment prosome (glava) kod kopepoda, nosi usne dijelove (mandibule, maksile, maksilule i maksilipede)
Distalno	Usmjereno prema završnom rubu neke strukture (od sredine tijela), suprotno od proksimalno
Endopodit	Unutrašnja grana biramne noge ili privjeska kod rakova, bliže sredini tijela
Egzopodit	Vanjska grana biramne noge ili privjeska kod rakova, dalje od sredine tijela
Genikulacija	Zglob koji omogućuje preklapanje tjelesnog privjeska pod kutem kao kod lakta, tipično za antenule kalanoidnih mužjake zbog pridržavanja ženki tijekom kopulacije
Genitalni segment	Segment urosome koji nosi spolne otvore
Kaudalni rami	Parni privjesci smješteni iza analnog segmenta, tipično nose sete, u starijoj terminologiji koristi se i naziv furka ili furkalni rami
Koksa	Prvi (proksimalni) segment protopoda plivaće noge
Seta	Čvrsti armaturni element nalik šupljoj dlaci
Spina	Čvrsti armaturni element nalik bodlji
Setula	Mala seta
Spinula	Mala spina
Plumozan	Nalik peru, dio koji nosi niz setula poredanih duž uzdužne osi
Prosoma	Prednji dio tijela, nosi glavene privjeske (antenule, antene), usne dijelove i plivaće noge
Posteriorno	Usmjereno prema natrag ili vidljivo sa prednje strane
Proksimalno	Smješteno uz početni rub neke strukture (prema sredini tijela), suprotno od distalno
P5	Peti par plivaćih nogu, kod većine kopepodnih vrsta promijenjene

	ili rudimentarne građe. Kod kalanoidnih vrsta izrazito su promijenjene kod mužjaka i važne u procesu kopulacije
Torakalni	Koji pripada segmentima toraksa, srednjeg dijela tijela (pršnjaka)
Uniramni	Tjelesni privjesak kod člankonožaca građen od jedne grane (ramusa)
Urosoma	Stražnji dio tijela (abdomen)
Ventralno	Smješteno na donjoj ili trbušnoj površina tijela (suprotno dorzalnoj ili leđnoj strani tijela)

3. REZULTATI

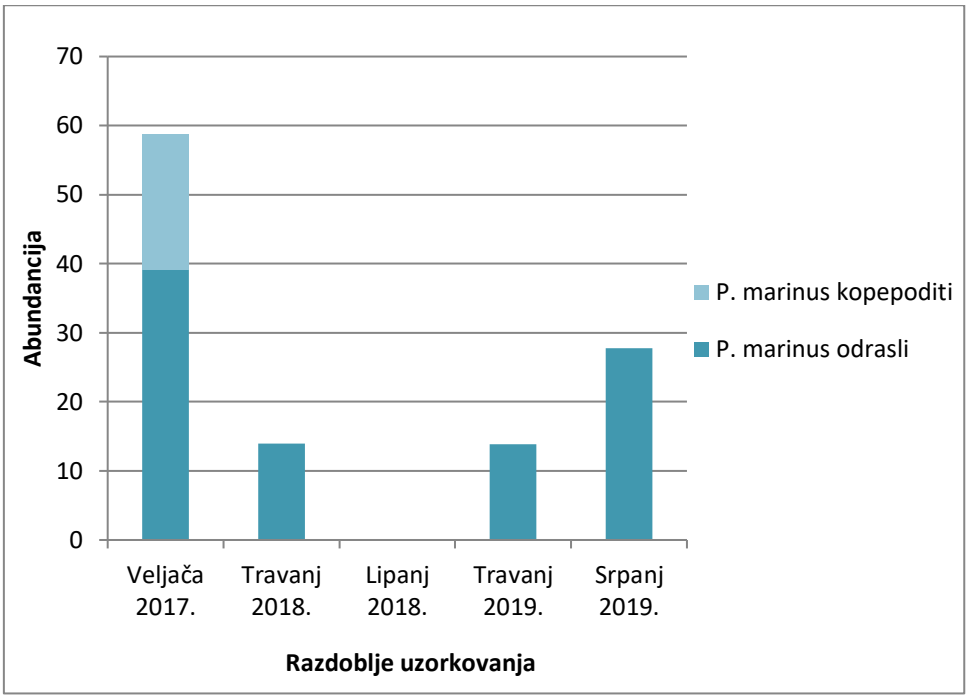
3.1. Sastav lokalne zajedice mezozooplanktona i vremenska raspodjela vrste *P. marinus* na istraživanom području

U istraživanom razdoblju ukupna brojnost mezozooplanktonskih organizama na istraživanom području kretala se između 2930 jed. m^{-3} (travanj 2018.) i 9777 jed. m^{-3} (lipanj 2018.). Najzastupljenije skupine su kopepodni račići (Copepoda) i raznovrsne ličinke (larvae) uglavnom bentičkih beskralježnjaka, koji u u pravilu sačinjavaju >75% ukupne zajednice (Slika 11). Među kopepodima se uočava dominacija kalanoidnih kopepoda (red Calanoida), naročito u zimsko-proljetnom periodu i malih ciklopoidnih kopepoda (red Cyclopoida) iz porodice Oithonidae u ljetnom periodu, dok su poecilostomatoidni kopepodi (najčešće iz porodice Oncaeidae) kao i harpaktikoidi (red Harpacticoida) u pravilu slabije zastupljeni i manjih kolebanja abundancije (Slika 11).



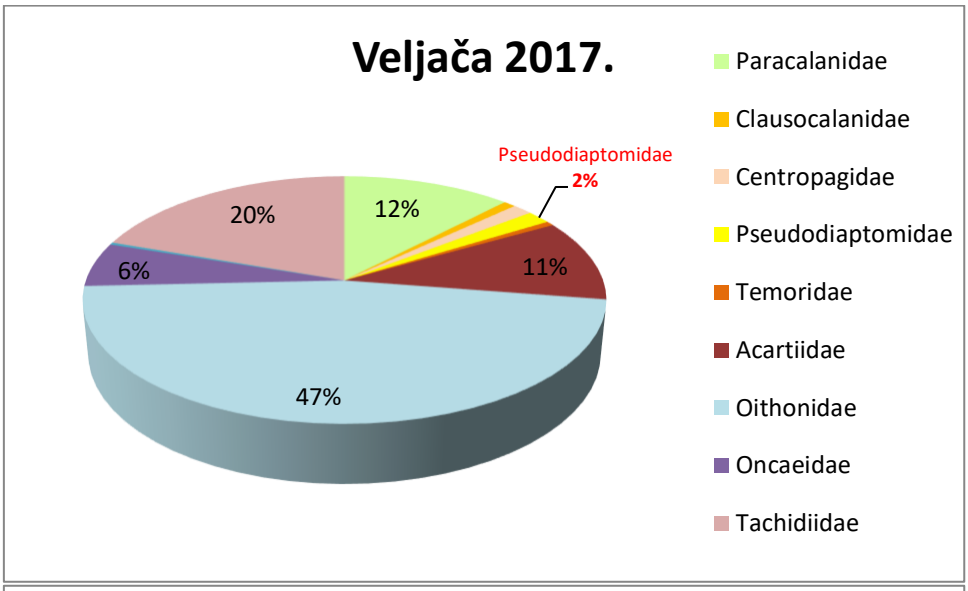
Slika 11. Postotna zastupljenost kopepodnih redova u ukupnoj zajednici kopepodnih račića na području šibenske luke u istraživanom razdoblju.

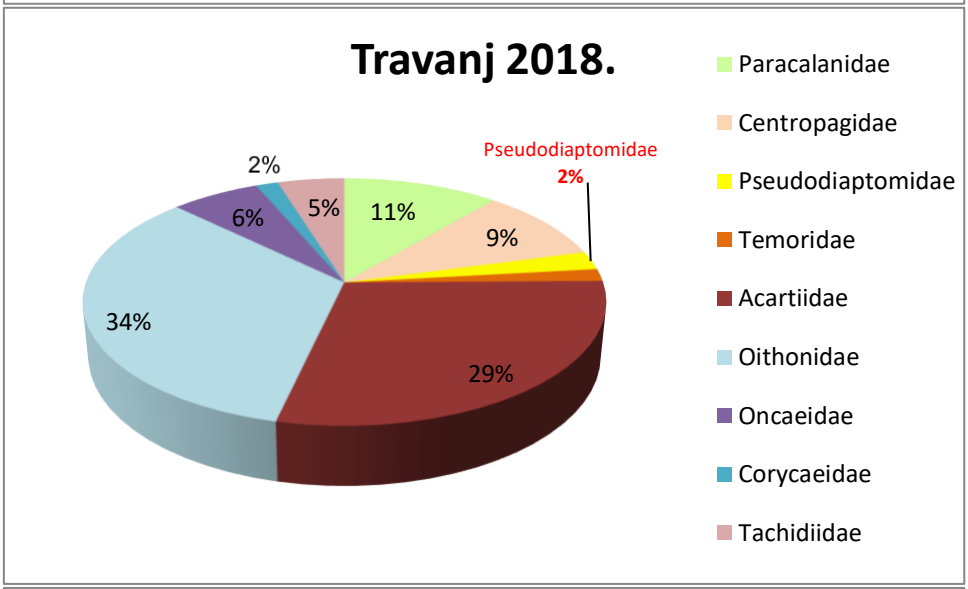
Ukupna abundancija vrste *P. marinus* na istraživanom području kretala se između 0,1 jed. m^{-3} (lipanj 2018.) i 59 jed. m^{-3} (veljača 2017.). Zabilježeni su uglavnom odrasli primjerci, dok su juvenili (kopepoditi) nađeni samo u veljači 2017. (Slika 12).

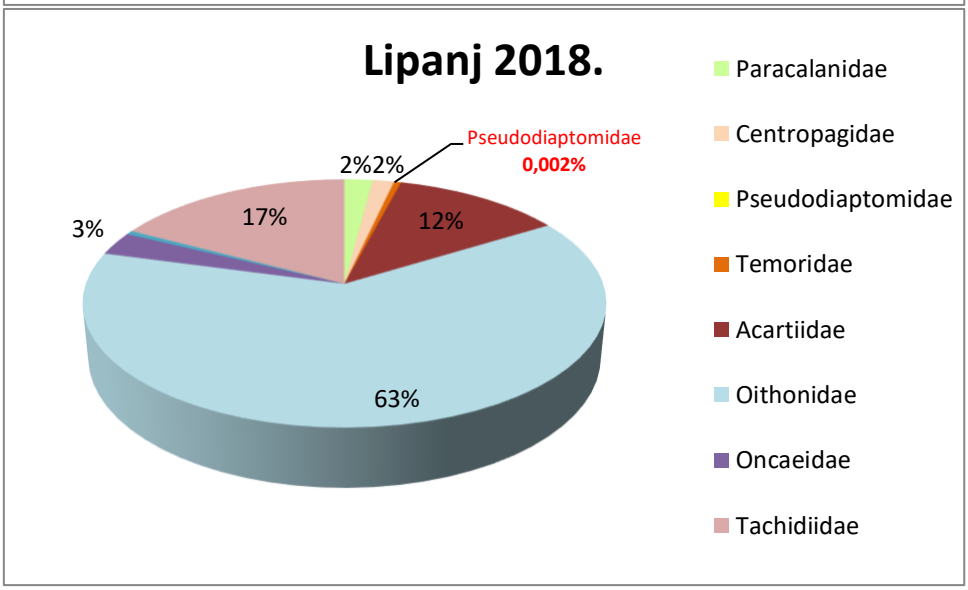


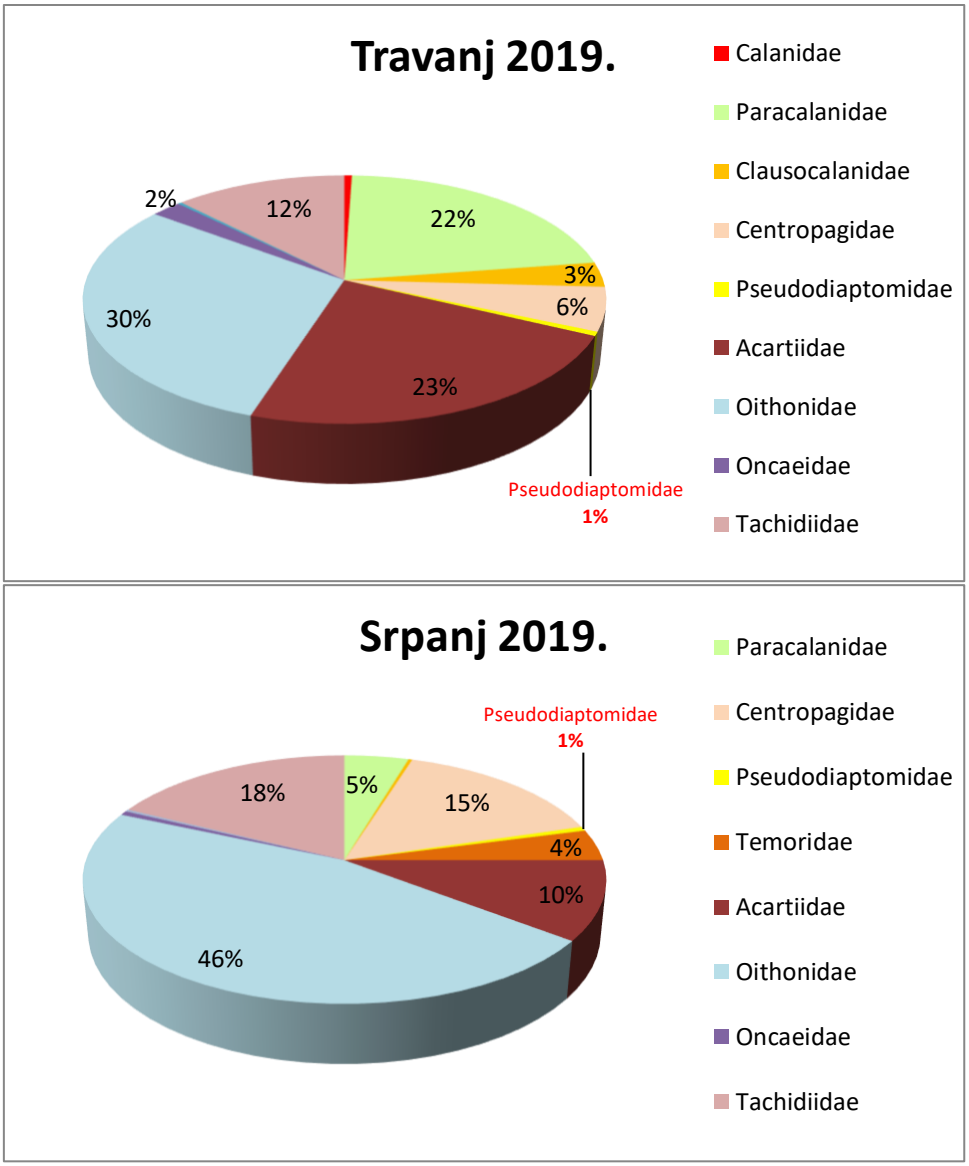
Slika 12. Odnos abundancije odraslih i juvenilnih stadija kod vrste *P. marinus* na istraživanom području.

Kopepodna zajednica na istraživanom području predstavljena je s ukupno 14 porodica, od kojih su predstavnici njih 11 zabilježeni u veljači 2017. i travnju 2019., po 9 porodica u travnju i lipnju 2018. te 13 porodica u srpnju 2019. Postotna zastupljenost vrste *P. marinus* (porodica Pseudodiaptomidae) u ukupnoj zajednici kopepoda bila je vrlo niska i u svim periodima uzorkovanja <3% (Slika 13). Najveću vrijednost (2,4%) dosegla je u travnju 2018. godine. Kroz čitavo istraživano razdoblje najzastupljenija među kopepodima u pravilu je bila porodica Oithonidae, s prosječnim udjelom od 43,95±12,95%. Na drugom mjestu po zastupljenosti izmjenjuju se porodice Tachidiidae (prosječno 14,35±5,97%) i Acartiidae (prosječno 16,98±8,39), dok je na trećem mjestu najčešće porodica Paracalanidae (10,42±7,81%). Prosječno najbrojnije vrste u svim uzorkovanjima su *Oithona nana*, *Euterpina acutifrons*, *Paracalanus parvus*, *Centropages kroyeri* i *Acartia clausi*, a brojnošću uglavnom dominiraju nedorasle jedinke (kopepoditi).


Veljača 2017.
Pseudodiaptomidae
2%
20%
12%
6%
11%
47%
Paracalanidae
Clausocalanidae
Centropagidae
Pseudodiaptomidae
Temoridae
Acartiidae
Oithonidae
Oncaeidae
Tachidiidae


Travanj 2018.
Pseudodiaptomidae
2%
2%
6%
5%
11%
9%
34%
29%
Paracalanidae
Centropagidae
Pseudodiaptomidae
Temoridae
Acartiidae
Oithonidae
Oncaeidae
Corycaeidae
Tachidiidae


Lipanj 2018.
Pseudodiaptomidae
0,002%
2%2%
3%
17%
12%
63%
Paracalanidae
Centropagidae
Pseudodiaptomidae
Temoridae
Acartiidae
Oithonidae
Oncaeidae
Tachidiidae



Slika 13. Zastupljenost predstavnika porodice Pseudodiaptomidae (*P. marinus*) u ukupnoj kopepodnoj zajednici za pojedino razdoblje.

Broj vrsta kopepoda (S) najveći je u travnju 2019., a prati ga Margalefov indeks (d) s maksimalnom vrijednošću od 2,37, zabilježen također u travnju 2019 (Tablica 5).

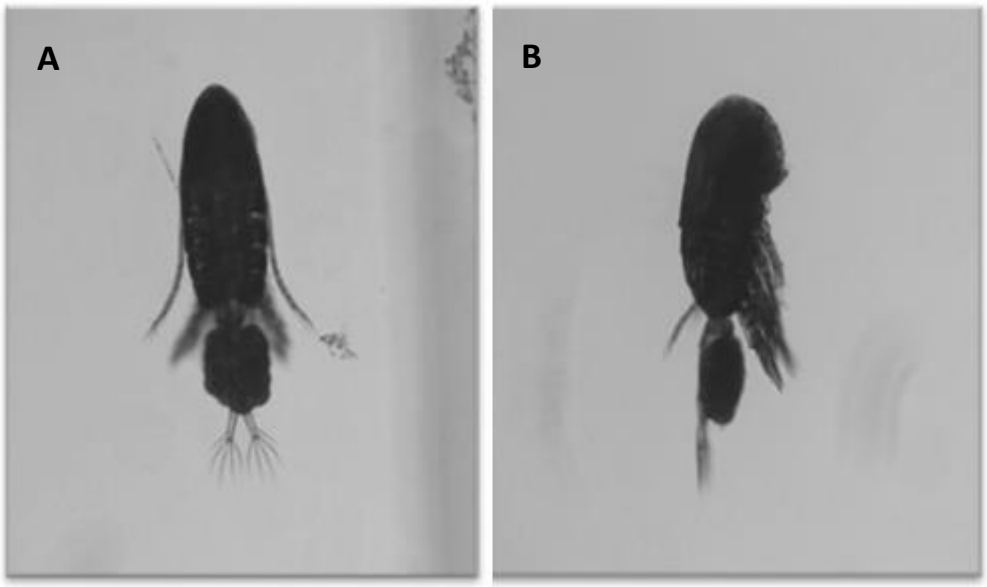
Pielou-ov indeks (<0,5) ukazuje na slabiju ujednačenost raspodjele brojnosti po vrstama u travnju 2018. i srpnju 2019., dok je u ostalim periodima ova vrijednost viša i raspodjela ujednačenija. Shannon-ov indeks bioraznolikosti (H') najveći je tijekom travnja 2018. dok Gini-Simpsonov indeks ne ukazuje na izrazitu dominaciju u zajednici (>0,5). Hillovi brojevi (N1 i N2) govore da je raznolikost vrsta bila najveća tijekom travnja 2018., a najmanja tijekom srpnja 2019.

Tablica 5. Pokazatelji bioraznolikosti za kopepodnu zajednicu na istraživanom poručju (S= broj vrsta; N= ukupan broj jedinki; d=Margalef-ov indeks bogatstva vrsta; J'= Pielou-ov indeks ujednačenosti; H'(loge)= Shannon-ov indeks bioraznolikosti; 1-Lambda'= Gini-Simpsonov indeks; N1 i N2 = Hillovi brojevi).

Uzorak	S	N	D	J'	H'(loge)	1-Lambda'	N1	N2
ŠL II 2017.	16	2490	1.918	0.520	1.443	0.657	4.233	2.915
ŠL IV 2018.	10	216	1.674	0.927	2.135	0.866	8.456	7.243
ŠL VI 2018.	13	2434	1.539	0.420	1.082	0.555	2.952	2.247
ŠL IV 2019.	18	1303	2.370	0.639	1.850	0.791	6.357	4.76
ŠL VII 2019.	15	2975	1.750	0.394	1.066	0.543	2.903	2.188

3.2. Taksonomski opis vrste *P. marinus* Sato, 1913 iz šibenske luke

Na slici 14. prikazana je mikrofotografija ženke vrste *P. marinus* pod povećanjem od 40x, dok je na slikama 15 i 16 detaljnije ilustrirana građa jedinki oba spola upotrebom „*camere lucide*“.



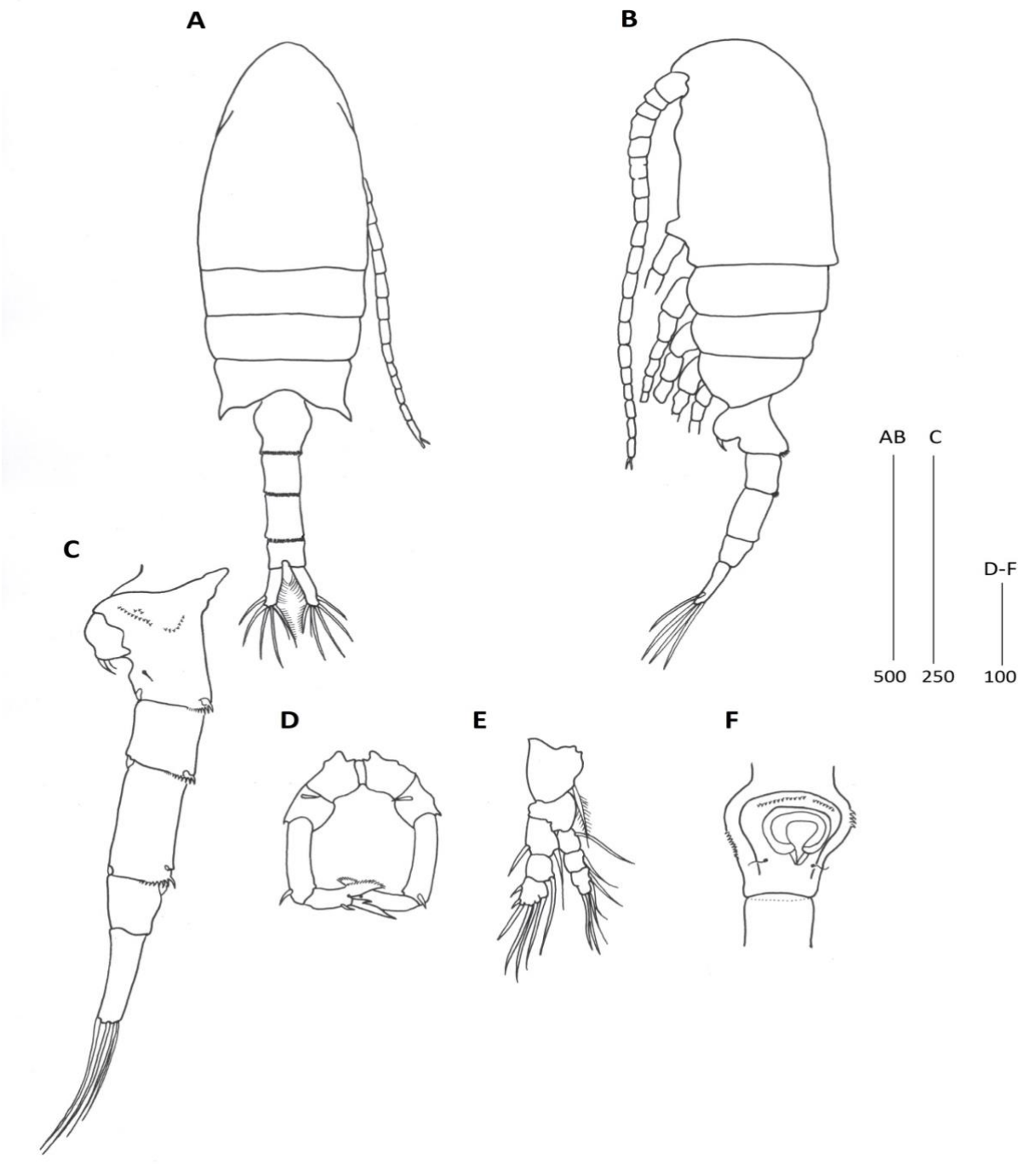
Slika 14. A - *Pseudodiaptomus marinus*, odrasla ženka s jajima (dorzalno), B - *Pseudodiaptomus marinus*, odrasla ženka s jajima (lateralno) (Izvor: Marta Skračić).

Opis odrasle ženke:

Ukupna dužina tijela (lateralno): 1369,6 μm. Maksimalna širina cefalosoma (dorzalno): 336,9 μm. Tijelo je usko i izduženo, a prosoma i urosoma u međusobnom odnosu od 1,7 (63,5%:36,5 %). Prosoma se pravilno sužava prema frontalnom dijelu cefalosoma (sl.15 A, B). Na prosomi su vidljiva 3 jasno odijeljena torakalna segmenta. Zadnji torakalni segment završava oštrim i izduženim nastavcima usmjerenim posterolaterlano, koji prelaze 1/3 dužine genitalnog segmenta. Svaka antenula (A1) je građena od 21 segmenta, doseže do distalnog ruba genitalnog segmenta.

Urosoma simetrična, građena od 4 segmenta. Genitalni segment u središnjem dijelu lateralno proširen, vrlo lagano asimetričan i s lijeve strane naglašenije zaobljen. S ventralne strane u središnjem dijelu jako izbočen, a genitalni poklopci na donjem rubu centralno nose svaki po jednu jaku zakrivljenu spinu. Duž lateralnih ploha segmenta s obje strane prisutan je niz tankih zubića, poredanih u obliku asimetričnog slova V. Jaja smještena u jednoj jajnoj vrećici, svako jaje je pravilnog okruglog oblika (Slika 14). Svi segmenti urosome osim analnog segmenta oivičeni su redom šiljastih zubića duž distalnog dorzalnog ruba (Slika 15C). Kaudalni rami rašljasti, 3,3 puta duži od svoje širine, obrasli finim setulama duž unutrašnjeg ruba.

P1 simetrične, građene od kokse, baze i dvije tročlane grane, egzopodita i endopodita (Slika 15E). U odnosu na P2-P4, kraće su i vitkije građe, a spine na egzopoditu nisu nazubljene. P5 su simetrične, usmjerene jedna prema drugoj, uniramne i građene od 4 segmenta (Slika 15D). Bazalni segment svake noge na vanjskom distalnom rubu završava spinulom, a posteriorno nosi i jednu malu setu. Prvi segment ramusa na vanjskom distalnom rubu nosi malu setu. Drugi segment ramusa također nosi malu setu na vanjskom distalnom rubu, a terminalno je izdužen u spini sličan dvostruko nazubljeni nastavak usmjeren prema unutra. Uz njega je nešto duža terminalna spina, koja je pri bazi srasla s manjom zdepastom nazubljenom spinom.



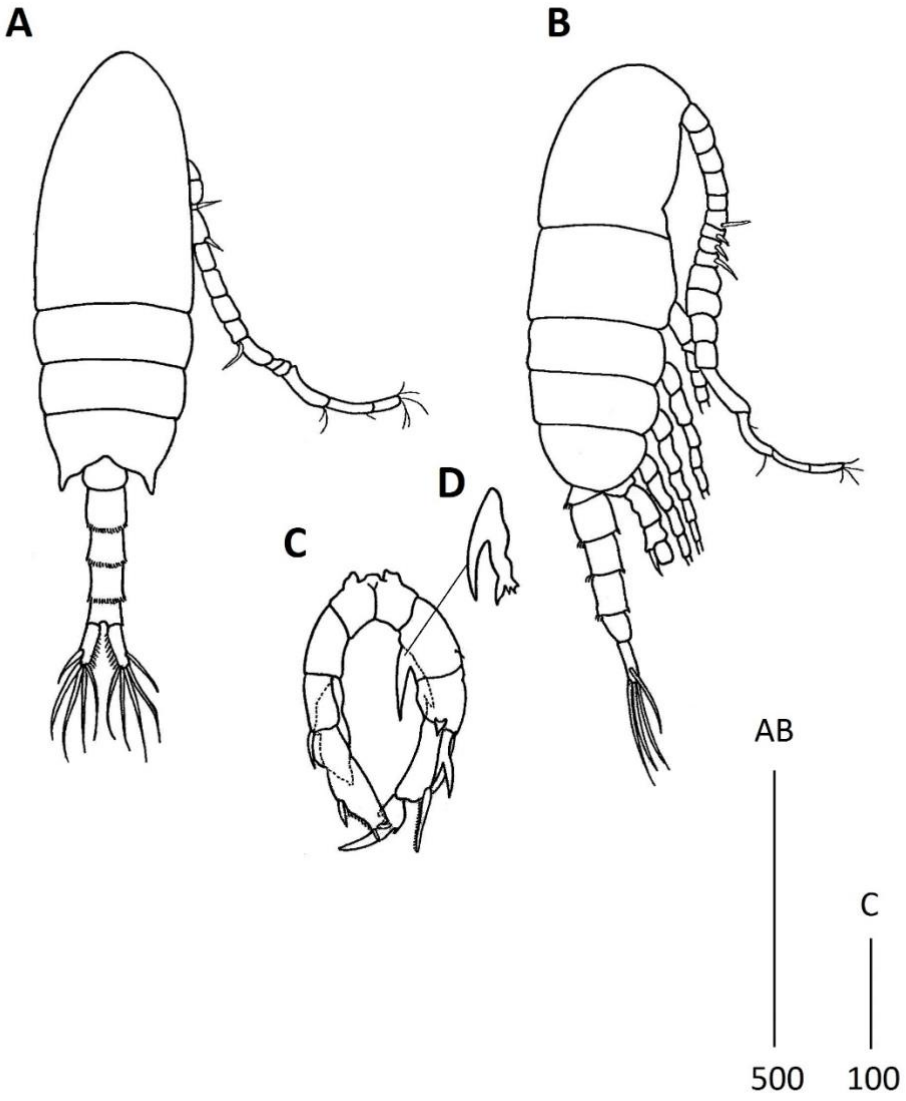
Slika 15. *Pseudodiaptomus marinus*, odrasla ženka: A – habitus dorzalno; B – habitus lateralno (P1-P4 nisu u cijelosti prikazane); C - genitalni segment lateralno; D – P5; E – P1; E – genitalni segment ventralno. Sve su skale izražene u mikrometrima.

Opis odraslog mužjaka:

Ukupna dužina tijela (lateralno): 1119,6 μm. Maksimalna širina cefalosoma (dorzalno): 282,6 μm. Odnos dužine prosome i urosome je 2,1 (68%:32%) (Slika 16A, B). Na prosomi su lateralno vidljiva 4 jasno odijeljena torakalna segmenta (Slika 16B). Zadnji torakalni segment završava posteriorno usmjerenim oštrim i izduženim nastavcima, koji dužinom prelaze distalni rub prvog segmenta urosome (Slika 16A). Kod A1 vidljiv je spolni dimorfizam, građena je od 21 segmenta kao i kod ženke, ali se na desnoj A1 uočava genikulacija karakteristična za kalanoidne mužjake (Slika 16A, B).

Urosoma simetrična, građena od 5 segmenata. Distalni rub svih segmenata oivičen redom zubića s dorzalne strane (Slika 16A). Kaudalni rami blago rašljasti i 2,8 puta duži od svoje širine, obrasli finim setulama duž unutrašnjeg ruba (Slika 16A).

Plivaće noge P1-P4 građene kao kod ženke. P5 spolno dimorfne (Slika 16C), biramne, asimetrične, građene od kokse, baze te dvočlanog egzopodita i jednočlanog endopodita. Desna P5 nosi golu koksu, bazu s karakterističnim rascijepljenim endopoditom (Slika 16D) i malu setu na vanjskom distalnom rubu. Prvi segment egzopodita nosi nekoliko manjih spinula distalno, te jaku spinu Y oblika u vanjskom distalnom kutu, blizu čije je baze smještena još jedna vrlo kratka i zdepasta spina. Drugi segment egzopodita na vanjskom distalnom rubu nosi dugu djelomično plumoznu spinu, a terminalno nosi jaku kuku sa zadebljalom bazom koja nosi dvije male spinule. Kod lijeve P5 baza nosi posteriornu setu i dugi plosnati endopodit bez armaturnih elemenata. Egzopodit je dvočlan, prvi segment nosi spinu na vanjskom distalnom rubu, drugi segment je produžen i na vrhu odsječen, subdistalno na vanjskom rubu nosi dužu spinu te na samom vrhu još jednu kratku terminalnu spinu.



Slika 16. *Pseudodiaptomus marinus*, odrasli mužjak: A - habitus dorzalno; B - habitus lateralno (P1-P4 nisu u cijelosti prikazane); C - P5: D - endopodit desne P5.

4. RASPRAVA

Zbog svoje izuzetne prirodne vrijednosti, područje ušća Krke intenzivno se istražuje već više od dva desetljeća (Legović i sur. 1994; Gržetić i sur., 1991; Regner, 1977; Kršinić, 1987; 1990; Bakran-Petricioli i sur., 1999; Viličić i sur., 1989; Marguš i sur. 2001). Posebno je pod pojačanim nadzorom područje Šibenskog zaljeva, koje je zbog blizine grada Šibenika, industrije, turizma te putničke i teretne luke pod rizikom od ugroženosti antropogenim aktivnostima. Zooplanktonska zajednica ovog područja pod redovitim je monitoringom kao jedan od bitnih elemenata morske hranidbene mreže na razini primarnih potrošača, a istraživanja se provode duž estuarija, od Prokljanskog jezera do izlaza iz kanala svetog Ante (Vidjak i sur., 2009, 2012).

Ipak, uže područje šibenske luke istražuje se vrlo sporadično, kao posljedica nedostatka sustavnog nacionalnog monitoringa u lukama istočne obale Jadrana, naročito s obzirom na planktonske komponente ekosustava. Zbog prekrcaja balastnih voda brodova, luke su najčešća mjesta primarnog unosa (introdukcije) stranih (nezavičajnih) vrsta, a budući da se radi o lokalitetima koji su značajno promijenjeni ljudskom intervencijom, pod povećanim su rizikom od smanjenja kvalitete staništa i gubitka zavičajnih vrsta i zajednica, što može dodatno pogodovati uspješnosti kolonizacije jednom pristiglih stranih vrsta (Occhipinti-Ambrogi i Savini, 2003).

Zabilježene ukupne brojnosti mezozooplanktona kroz pet terenskih izlazaka u razdoblju 2017.-2019. godine na području šibenske luke ne odudaraju od dosadašnjih višegodišnjih raspona zabilježenih na području šibenskog zaljeva. U odnosu na ostatak priobalja srednjeg Jadrana, estuarij Krke poznat je po povremeno vrlo visokim abundancijama mezozooplanktona ($>10^4$ jed. m^{-3}), kao posljedice prirodne i antropogeno uzrokovane eutrofikacije (Vidjak i sur., 2009). Blizina obale i mala dubina u luci (6-8 m) uvjetuju i karakterističnu strukturu zajednice, gdje su gotovo bez iznimke najbrojnije skupine kopepodni račići i ličinke bentičkih beskralježnjaka (mekušaca, mnogočetinaša, bodljikaša, desetonožnih rakova, vitičara, mahovnjaka i sl.), a tek povremeno poraste i brojnost kladocera (škrgonošci), uglavnom u ljetnom razdoblju (Vidjak, 2012). Kopepodi su i inače najzastupljenija skupina mezozooplanktona (veličinska frakcija organizama 0,2-2 cm) u obalnom zooplanktonu Jadranskog mora, a planktonske ličinke školjkaša, puževa, bodljikaša, mnogočetinaša i bentičkih desetonožnih rakova na obalnim lokalitetima s vrlo razvijenom zajednicom bentoskih beskralježnjaka osiguravaju uspješnu kolonizaciju novih staništa za bentoske vrste

(Pechenik, 1999). Sezonska raspodjela kopepoda na istraživanom području također je bila u skladu s ranije zabilježenim rezultatima: pretežno herbivorni kalanoidni kopepodi prevladavaju u zimsko-proljetnom periodu u skladu s fitoplanktonskim ciklusom razmnožavanja, dok ljeti dominiraju omnivorni i termofilni ciklopoidi iz porodice Oithonidae koji ne ovise isključivo o fitoplanktonskim algama u svojoj ishrani, već koriste i detritus te razvojne stadije drugih kopepodnih vrsta (nauplije). Ostali kopepodni predstavnici (u sistematskom smislu skupine Poecilostomatoida i Harpacticoida) imaju manje, ali stabilnije populacije s niskim kolebanjima brojnosti tijekom godine (Vidjak i sur., 2012).

Pseudodiaptomus marinus jedini je predstavnik porodice Pseudodiaptomidae zabilježen na području šibenske luke. Vrstu karakterizira složena životna strategija koja se očituje u promjeni staništa na dnevno-noćnoj skali: odrasle jedinke zadržavaju se u bentosu ili hiperbentosu tijekom dana, dok se u sumrak dižu prema površini i prelaze na planktonski način života u obalnim i estuarijskim područjima (Walter, 1986). Zbog toga nastaju problemi u uzorkovanju, jer su potrebna noćna uzorkovanja vodenog stupca koja znatno kompliciraju i financijski opterećuju terenski istraživački rad. Abundancije vrste *P. marinus* zabilježene u ovom istraživanju su jako niske (<60 jed. m^{-3}), unatoč provedenim noćnim uzorkovanjima (između 19:00 i 22:45 sati) kada bi ih se u planktonu očekivalo više. Budući da se koristila planktonska mreža malog promjera obruča (37 cm), obično je sakupljano više potega da bi se dobio što bogatiji planktonski uzorak, ali je broj jedinki *P. marinus* unatoč tome jako mali. Obzirom da su u populaciji zabilježene i ženke s jajima i kopepoditski stadiji (juvenili), očito je da je došlo do uspostave populacije na istraživanom području. Međutim, niske brojnosti ukazuju na to da populacija za sada ne pokazuje pretjerano širenje odnosno invazivne osobine. Pregled lokalne zajednice zooplanktona također potvrđuje ovo opažanje, jer nisu zabilježeni promijenjeni odnosi u strukturi lokalne zajednice kao ni u međusobnim odnosima među skupinama.

Također, na brojnim drugim istraženim područjima gdje je *P. marinus* zabilježen kao nezavičajna vrsta, priroda njegova ponašanja je ista; kopepoditi i adulti epibentički su tijekom dana, a dižu se u plankton tijekom noći (Liang i Uye, 1997), što određuje gustoće populacije na određenoj postaji tijekom uzorkovanja i uzrokuje podcjenjivanja njegove stvarne abundancije (De Olazabal i Tirelli, 2011; Brylinski i sur., 2012). Prvi nalaz vrste *P. marinus* u njemačkom dijelu Sjevernog mora, prilikom CPR (engl. *Continuous Plankton Recorder*) uzorkovanja, sakupljen je otprilike 35 minuta prije sumraka, a sakupljene su 3 jed. m^{-3} (Jha i sur., 2013). U sjevernom Jadranu, de Olazabal i Tirelli (2011) uzorkovale su tijekom dana vertikalnim potegom (WP2 mrežom) na 14 postaja te su prikupile 11 primjeraka vrste *P.*

marinus u blizini luke Rimini i 4 jedinke u umjetnom kanalu u luci Monfalcone. Zabilježene niske abundancije su vjerojatno posljedica uzorkovanja tijekom dnevnih sati, te standardnog spuštanja otvora planktonske mreže na 2,5 do 3 m od dna, unatoč činjenici da je porodica Pseudodiaptomidae primarno demerzalna tijekom dana (Walter, 1986). Nadalje, u luci Koper (Tršćanski zaljev), mezozooplankton je uzorkovan vertikalnim potegom WP2 mreže promjera obruča 55 cm tijekom dana (9-12 h) i tada nije zabilježena visoka gustoća jedinki, ali je zato prilikom dodatnog uzorkovanja tijekom noći (22-23 h), zabilježena abundancija od 73 jed. m^{-3} (Lučić i sur., 2015).

Sve navedeno potvrđuje da su u plitkim obalnim područjima upravo noćna uzorkovanja esencijalna za određivanje stvarne abundancije populacije ove vrste. U usporedbi s gustoćom jedinki na drugim lokalitetima, primjerice u autohtonom staništu u Inlandskom moru (Japan) gdje vrsta broji i preko 1000 jed. m^{-3} (Uye i sur., 1982; Liang i Uye, 1997b), zatim u jezeru Faro (Sicilija, Italija) gdje je godišnji maksimum gustoće vrste 3900 jed. m^{-3} (Sabia i sur., 2014) ili u luci Zeebrugge u belgijskom dijelu Sjevernog mora, gdje je najviša gustoća vrste 560 ± 163 jed. m^{-3} (Deschutter i sur., 2018), u šibenskoj luci, izgleda, još uvijek nije došlo do nekontrolirane invazije i širenja ove vrste.

S obzirom na sposobnost prilagodbe nepovoljnim uvjetima i potvrđenoj toleranciji na visoki raspon saliniteta (2.5-38‰) i temperature (5-28°C) (Deschutter i sur., 2018), preživljavanje vrste *P. marinus* u šibenskoj luci, ukoliko se i pogoršaju uvjeti, ne bi trebalo biti ugroženo. *P. marinus* ima široki hranidbeni spektar i lako se prilagođava na različite uvjete ishrane (herbivor i detrivor) (Sabia i sur., 2015). Primjerice, Uye i Kasahara (1983) su eksperimentima u laboratoriju dokazali da se ovi kopepodi najprije hrane česticama većih veličinskih kategorija, te se potom uspješno prebacuju na maksimalne biomase manjih, što znači da se mogu izvrsno prilagoditi dinamičkom sustavu u kojem je distribucija hranjivih čestica kao i njihova veličina i koncentracija u prirodi heterogena i promjenjiva. Planktonski kopepodi su sposobni adaptirati se promjeni heterogene prirodne hrane regulacijom svoje probavne enzimske aktivnosti (Sabia i sur., 2015).

Uz sve navedeno, strategija čuvanja oplođenih jaja u jajnoj kesici kod ženki ove vrste još je jedan od pozitivnih faktora koji utječe na proces invazije u slučaju niske abundancije kopepodne vrste (Sabia i sur., 2015), s obzirom da smanjuje mortalitet jaja. Iz tog razloga *P. marinus* ima sposobnost bržeg povećanja abundancije unutar pogodnih uvjeta (Deschutter i sur., 2018), a niži fekunditet kod kopepoda koji ovako štite potomstvo je adaptacija na potencijalni porast smrtnosti kod ovigernih ženki (Liang i Uye, 1997).

Same posljedice širenja vrste *P. marinus* nije lako predvidjeti, ali općenito invazivne vrste mogu poremetiti interspecijske odnose i uzrokovati nestanak lokalnih vrsta, što vodi ka kaskadnom efektu kroz hranidbenu mrežu, potencijalno mijenjajući funkcioniranje ekosustava (Deschutter i sur., 2018). Primjerice, takve posljedice su uočene u estuariju San Francisco, gdje je *P. marinus* također unesen, te se pretpostavlja da je prouzrokovao smanjenje abundancije prethodno brojnog i nešto većeg kopepoda *Eurytemora affinis*, što je dovelo do smanjenja količine hrane za riblje populacije. Posljedice su se očitovale i u neučinkovitom hranjenju riba, zbog manjih dimenzija vrste *P. marinus* od ostalih kopepoda koje su ribe do tada koristile za ishranu (Deschutter i sur., 2018).

Kopepodi, kao najvažnija skupina zooplanktona, čine prirodnu hranu mnogih riba i beskralježnjaka, a većina ribljih larvi evolucijski je adaptirana na prehranu kopepodima, zbog čega se oni često i uzgajaju u akvakulturi (Santhosh i sur., 2015). Pokazalo se da upravo kopepodi stimuliraju primarni rast riba bolje od najčešće korištenih kolnjaka (Rotatoria) i kozica. Ishrana kopepodima ima znatne prednosti, koje se očituju u visokoj otpornost larvi na stres, visokim stopama preživljavanja, rasta i proizvodnje biomase larvi. Pelagični kalanoidni kopepodi manjih dimenzija (~1 do 1,3 cm) s visokim pragom tolerancije na široki raspon okolišnih uvjeta, kao što je *P. marinus*, najpoželjniji su u mrijestilištima kao izvor žive hrane za riblje larve (Santhosh i sur., 2015). Međutim, hvatanje divljih populacija vrste *P. marinus*, kao i ostalih kopepoda, i njihovo korištenje u svrhu ishrane larvi nije poželjno, s obzirom na visoki rizik inficiranja riba parazitima koje možda prenose (Santhosh i sur., 2015). Stoga se ne može tvrditi da bi širenje ove vrste u luci bilo od znatne koristi za ishranu riba u akvakulturi.

Usporedbom morfoloških karakteristika vrste nisu primjećene veće razlike u građi i dimenzijama s ranijim opisima. Grindley i Grice (1996) su izmjerili dužinu ženki od 1,28-1,3 mm i mužjaka od 0,99 mm, a Brylinski i sur. (2012) dužinu ženki od 1,3-1,8 mm i mužjaka od 1,3-1,5 mm, što odgovara i našim rasponima (ž: 1,37 mm, m: 1,12 mm). Dužinske proporcije prednje i stražnje regije tijela (prosome i urosome) iznose 65% i 35% prema Brylinski i sur. (2012), dok za ženke iz šibenske luke vrijede omjeri 63,5% i 36,5%, a za mužjake 68% i 32%, što predstavlja vrlo dobru podudarnost. Mogući razlozi blagih odstupanja u veličini i proporcijama mogli bi biti drugačiji uvjeti staništa, te razni biotički i abiotički čimbenici koji utječu na rast i razvoj vrste, kao i intraspecijska varijabilnost samih jedinki.

Nadalje, taksonomski bitni djelovi vrste su građom u skladu s prijašnjim opisima. Prosomu i urosomu mužjaka i ženki gradi isti broj segmenata kao i u opisu koji su dali Brylinski i sur. (2012) i Grindley i Grice (1996), osim što su u opisu Grindley i Grice (1996) posteriorne dorzalne ivice kod ženki obrubljene redovima hrapavih zubića na urosomalnim

segmentima 1-4, a u našem opisu postoje na svih 5 segmenata. Morfologija genitalnih poklopaca se također podudara, a kaudalni rami su prema opisu Grindley i Grice (1996) i Brylinski i sur. (2012) skoro 4 puta duži od svoje širine za ženke, dok su u našem opisu duži 3,3 puta. Za mužjake su u spomenutom opisu 3 puta duži od svoje širine, dok su našem slučaju taj odnos iznosi 2,8 puta. Sve navedeno predstavlja vrlo mala odstupanja koja ne ukazuju na značajnije razlike u morfologiji vrste iz šibenske luke. Segmentacija antenule (A1) i karakterističnog petog para plivaćih nogu (P5) također ne odudara od opisa koje su objavili Walter (1989), Grindley i Grice (1996) i Brylinski i sur. (2012).

Kao što je već spomenuto, veća pažnja trebala bi se usmjeriti na epibentičku rasprostrajenost vrste i prema njoj prilagoditi i poboljšati metodiku uzorkovanja. Primjerice, korištenje pumpi na električni pogon koje preko dugog crijeva pumpaju vodu u filtracijsku jedinicu na palubi broda moglo bi biti dobro rješenje za sakupljanje reprezentativnih uzoraka, kao što su pokazali Masson i sur. (2004), koji su preko pumpnog sustava sakupili maksimalni broj jedinki zooplanktona u pojedinom sloju vodenog stupca za većinu vrsta, te je on pokazao veću efikasnost u usporedbi s planktonskim mrežama. Budući da je korištenje pumpi moguće i u sloju neposredno iznad morskog dna uz pomoć ronilaca, te da cijena samih sustava za uzorkovanje plitkih obalnih lokaliteta zbog relativno kratkih cijevi i ne pretjerano glomaznih elektromotora nije previsoka, ovo izgleda kao obećavajući način uzorkovanja i za vrstu *P. marinus* tijekom dnevnih sati .

Redoviti monitoring nezavičajnih, a naročito invazivnih vrsta u obalnim europskim vodama prevencija je koju je potrebno provoditi kako bi se pratio unos i što brže sanirale posljedice širenja stranih vrsta (Deschutter i sur., 2018). Očekuje se i doprinos korištenja molekularnih metoda koje ne samo poboljšavaju i ubrzavaju točnost u identificiranju novih stranih vrsta, već razotkrivaju i genetske veze između populacija koje nastanjuju različita područja te rasvjetljuju i moguće mehanizme unosa (Sabia i sur., 2015).

5. ZAKLJUČCI

- Šire područje Šibenskog zaljeva pod stalnim je nadzorom s obzirom na razne antropogene aktivnosti koje potencijalno mogu imati štetne posljedice, a sama šibenska luka uslijed prekrcaja balastnih voda brodova predstavlja primarno mjesto unosa nezavičajnih vrsta i njihove moguće kolonizacije i širenja.
- Kalanoidni kopepod *Pseudodiaptomus marinus* jedini je predstavnik porodice Pseudodiaptomidae zabilježen na području šibenske luke, tijekom tri istraživane sezone (zima, proljeće i ljeto).
- Vrstu *P. marinus* karakterizira zadržavanje u bentosu ili hiperbentosu tijekom dana te dizanje prema površini u sumrak i prijelaz na planktonski način života u obalnim i estuarijskim područjima. Iz ovog razloga su prisutne poteškoće u dosadašnjim načinima uzorkovanja, te su potrebna noćna uzorkovanja vodenog stupca ili efikasnije sakupljanje u pridnenom sloju tijekom dana. Međutim, u šibenskoj luci su unatoč noćnim uzorkovanjima zabilježene jako niske abundancije vrste *P. marinus,* što ukazuje na to da populacija za sada nema invazivne osobine, iako je obzirom na pronalazak ženki s jajima i juvenila očito je da je populacija u luci uspostavljena.
- Uspoređujući strukturu zajednice zooplanktona te relativne odnose među kopepodnim vrstama, nisu uočena odstupanja u odnosu na ranije rezultate s područja Šibenskog zaljeva koja bi ukazivala na poremećene odnose u lokalnoj zavičajnoj zajednici zbog unosa ove strane vrste.
- Uspoređujući opis jedinki iz Šibenskog zaljeva sa starijim opisima, nisu uočene veće razlike u građi taksonomski bitnih dijelova.
- S obzirom na iznimno veliku prilagodljivost i toleranciju na široki raspon okolišnih uvjeta te samu životnu strategiju, očito je da će se ova vrsta lako prilagoditi i raširiti u šibenskoj luci, što može promijeniti strukturu zajednice i funkcionalnost ekosustava. Daljnji monitoring šibenske luke je nužno potreban kako bi se pratila eventualna invazivnost vrste *P. marinus,* a uzorkovanje bi se trebalo prilagoditi rasprostranjenosti same vrste i provoditi tijekom noćnih sati kada je vrsta u planktonu.
- Metodiku uzorkovanja treba unaprijediti primjenom efikasnijih metoda kod dnevnih uzorkovanja, primjerice upotrebom pumpi koje su se pokazale korisnim alatom za procjenu abundancije populacije, iako su nešto skuplje i zahtjevnije za korištenje od planktonskih mreža.

6. LITERATURA

Bakran-Petricioli, T, Petricioli D, Viličić D. 1999. Taxonomic composition and seasonal distribution of microphytoplankton in the Krka River estuary. Natura Croatica: Periodicum Musei Historiae Naturalis Croatici, 7(4): 307-319.

Brylinski JM, Antajan E, Raud T, Vincent D. 2012. First record of the Asian copepod *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913 (*Copepoda: Calanoida: Pseudodiaptomidae*) in the southern bight of the North Sea along the coast of France. Aquatic Invasions, 7(4): 577-584.

de Olazabal A, Tirelli V. 2011. First record of the egg-carrying calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* in the Adriatic Sea. Marine Biodiversity Records, 4(85): 1-4.

Deschutter Y, Vergara Grandes GM, Mortelmans J, Deneudt K, De Schamphelaere K, De Troch M. 2018. Distribution of the invasive calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* (Sato, 1913) in the Belgian part of the North Sea. Bioinvasions records, 7(1): 33-41.

Dulčić J, Dragicevic B. 2010. New record of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896,(Decapoda: Brachyura) in the Adriatic Sea. Annales: Series Historia Naturalis. Vol. 20. No. 1. Scientific and Research Center of the Republic of Slovenia, 2010.

Dulčić J, Jardas I, Pallaoro A, Lipej L. 2004. On the validity of the record of silver pomfret *Pampus argenteus* (Stromateidae) from the Adriatic Sea. Cybium, 28(1): 69-71.

European Environment Agency. 2014. Dostupno sa: https://www.eea.europa.eu/, pristupljeno: studeni 2019.

Grindley JR, Grice GD. 1969. A redescription of *Pseudodiaptomus marinus* Sato (*Copepoda, Calanoida*) and its occurrence at the Island of Mauritius. Crustaceana, 16(2): 125-134.

Gržetić, Z, Precali R, Deggobis D, Škrivanić A. 1991. Nutrient enrichment and phytoplankton response in an Adriatic karstic estuary. Marine chemistry, 32: 313-331.

Jerling HL, Wooldridge TH. 1989. The developmental stages of *Pseudodiaptomus hessei* (*Copepoda: Calanoida*). African Zoology, 24(2): 139-145.

Jha U, Jetter A, Lindley JA, Postel L, Wootton M. 2013. Extension of distribution of *Pseudodiaptomus marinus*, an introduced copepod, in the North Sea. Marine Biodiversity Records, 6: 1-3.

Kirinčić M. 2006. First record of *Hippolyte prideauxiana* Leach, 1817 (Crustacea, Decapoda, Caridea) in the Adriatic Sea. Acta Adriatica: international journal of Marine Sciences, 47(1): 85-88.

Kršinić F. 1987. Tintinnines (Ciliophora, Oli-gotrichida, Tinntinnina) in Eastern Adriatic Bays. Coastal and Shelf Science, 24: 527-538.

Kršinić F. 1990. Planktonic ciliates in the lower reach of Krka river estuary. In: National park Krka, status of research and problems of ecosystem protection (in Croatian). Croatian Ecological Society, Zagreb, str. 259-270.

Legović, T, Žutić V, Gržetić Z, Cauwet G, Precali R. 1994. Eutrophication in the Krka river estuary. Marine chemistry, 46: 203-215.

Liang D, Uye S. 1997. Seasonal reproductive biology of the egg-carrying calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. Marine Biology, 128(3): 409-414.

Lučić D, Mozetič P, France J, Lučić P, Lipej L. 2015. Additional record of the non-indigenous copepod *Pseudodiaptomus marinus* (Sato, 1913) in the Adriatic Sea. Acta Adriatica, 56(2): 275-282.

Magaletti E, Garaventa F, David M, Castriota L, Kraus R, Luna GM, Silvestri C, Forte C, Bastianini M, Falautano M. Maggio T, Rak G, Gollasch S. 2018. Developing and testing an early warning system for non indigenous species and ballast water management. Journal of sea research, 133:100-111.

Marguš D, Teskeredžić E, Šain Ž. 2001. Dvadeset godina istraživanja i uzgoja školjkaša u ušću rijeke Krke. Ribarstvo. 59(3): 121-130.

Masson S, Pinel-Alloul B, Méthot G, Richard N. 2004. Comparison of nets and pump sampling gears to assess zooplankton vertical distribution in stratified lakes. Journal of Plankton Research, 26(10): 1199-1206.

Ninčević Gladan Z, Magaletti E, Scarpato, A. 2014. BALMAS Port Baseline Survey Protocol. Protocol. BALMAS project. Work package, *5*, 23.

Occhipinti-Ambrogi A, Galil BS. 2004. A uniform terminology on bioinvasions: a chimera or an operative tool?. Marine pollution bulletin, 49(9-10): 688-694.

Ohtsuka S, Shimono T, Hanyuda T, Shang X, Huang C, Soh HY, Kimmerer W, Kawai H, Itoh H, Ishimaru T, Tomikawa K. 2018. Possible origins of planktonic copepods, *Pseudodiaptomus marinus* (*Crustacea: Copepoda: Calanoida*), introduced from East Asia to the San Francisco Estuary based on a molecular analysis. Aquatic Invasions, 13(2): 221-230.

Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van Der Linden PJ, Hanson CE. 2007. IPCC, 2007: climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge Uni-versity Press, Cambridge, UK.

Pećarević M, Mikuš J, Cetinić AB, Dulčić J, Čalić M. 2013. Introduced marine species in croatian Waters (eastern Adriatic Sea). Mediterranean Marine Science, 14(1): 224-237.

Rahel FJ, Olden JD. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. Conservation biology, 22(3): 521-533.

REGNER, D. 1977. Investigations of copepods in the coastal areas of Split and Šibenik. Acta Adriatica, 17(12): 1-19.

Ruiz GM, Carlton JT, Grosholz ED, Hines AH. 1997. Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences. American zoologist, 37(6): 621-632.

Sabia L, Uttieri M, Schmitt FG, Zagami G, Zambianchi E, Souissi S. 2014. *Pseudodiaptomus marinus* Sato, 1913, a new invasive copepod in Lake Faro (Sicily): observations on the swimming behaviour and the sex-dependent responses to food. Zoological Studies, 53(1): 49.

Sabia L, Zagami G, Mazzocchi MG, Zambianchi E, Uttieri M. 2015. Spreading factors of a globally invading coastal copepod. Mediterranean Marine Science, 16(2): 460-471.

Santhosh B, Muhammed Anzeer F, Unnikrishnan C, Anil MK. 2015. Potential Species of Copepods for Marine Finish Hatchery.???

Simberloff D, Martin JL, Genovesi P, Maris V, Wardle DA, Aronson J, Courchamp F, Galil B, García-Berthou E, Pascal M, Pyšek P. 2013. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. Trends in ecology & evolution, 28(1): 58-66.

Uye SI, Kasahara S. 1983. Grazing of Various Developmental Stages of *Pseudodiaptomus marinus* (*Copepoda: Calanoida*). Bulletin of Plankton Society of Japan, 30(2): 147-158.

Vidjak O, Bojanić N, de Olazabal A, Benzi M, Brautović I, Camatti E, Hure M, Lipej L, Lučić D, Pansera M, Pećarević M, Pestorić B, Pigozzi S, Tirelli V. (2019). Zooplankton in Adriatic port environments: Indigenous communities and non-indigenous species. Marine pollution bulletin, 147: 133-149.

Vidjak O, Rožić S, Bojanić N. 2018. *Pseudodiaptomus marinus* - snapshots from Šibenik Bay (central Adriatic Sea). EUROBUS Workshop, Napulj, Italija, siječanj 2018.

Vilà M, Basnou C, Pyšek P, Josefsson M, Genovesi P, Gollasch S, Hulme PE. 2010. How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment. Frontiers in Ecology and the Environment, 8(3): 135-144.

Viličić, D., Legović T., Žutić V. 1989. Vertical distribution of phytoplankton in a stratified estuary. Aquatic Sciences, 51: 32-46.

Walter CT. 1989. Review of the New World species of *Pseudodiaptomus* (*Copepoda: Calanoida*), with a key to the species. Bulletin of Marine Science, 45(3): 590-628.

Zenetos A, Gofas S, Verlaque M, Çinar ME, Raso JG, Bianchi CN, Morri C, Azzuro E, Bilecenoglu M, Froglia C, Siokou I, Violanti D, Sfriso A, San Martin G, Giangrande A, Katagan T, Ballesteros E, Ramos-Espla A, Mastrototaro F, Ocana O, Zingone A, Gambi MC, Streftaris N. 2010. Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. Mediterranean Marine Science, 11(2): 381-493.