

Veličina pologa i jaja crvenokljune čigre *Sterna hirundo* u morskim i slatkovodnim kolonijama Republike Hrvatske

Kočevar, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:195737>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Toni Kočevar

**Veličina pologa i jaja crvenokljune čigre
Sterna hirundo u morskim i slatkovodnim
kolonijama Republike Hrvatske**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Ovaj rad je izrađen na Zavodu za ornitologiju na Hrvatskoj akademiji znanosti i umjetnosti, pod mentorstvom nasl. izv. prof. dr. sc. Jelene Kralj u sklopu projekta „Kopno ili more: Ekološki i genetički aspekti izbora staništa crvenokljune čigre“ (IP-2020-02-8793) financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra eksperimentalne biologije.

ZAHVALE

Kada bih ove zahvale pisao na način kako to inače radim, vjerojatno bih premašio broj stranica teksta samog diplomskog rada. Stoga, pokušat ću biti što kraći, a da pritom nikoga ne izostavim.

Prvenstveno se zahvaljujem svojoj mentorici, Jeleni Kralj za povjerenje, strpljivost i angažiranost tijekom svih koraka izrade ovog diplomskog rada. Mislim da od ovakvog mentora, koji unaprjeđuje svoje studente u svakom aspektu njihove buduće znanstvene karijere, boljega nisam mogao poželjeti.

Hvala mojim roditeljima, bratu i sestri bez čije podrške i čelične tolerancije ne bih bio gdje trenutno jesam. Posebno se zahvaljujem svojoj majci Sandi čija mi je mudrost i karizma bila veliki uzor ne samo na akademskom, već i na životnom putu.

Hvala teti Tanji koja me je od malih nogu zainteresirala za svijet biologije te bila značajni utjecaj u odabiru ovoga studija.

Hvala svim profesorima, asistentima i stručnim suradnicima na prenesenom znanju i iskustvima koji su mi uvelike pomogli u mom akademskom pohodu.

Hvala svim divnim ljudima i prijateljima koje sam imao prilike upoznati tijekom trajanja studija, a posebice dvoma najdražih s prvog sata tjelesnog na Martinovki.

Za kraj, zahvaljujem se Udruzi studenata biologije – BIUS i svim njenim članovima. Svatko od vas mali je dio predivnog iskustva zbog kojega se s ponosom nazivam BIUS-ovcem. Veliko hvala Luciji, Antoniju, Dori i Nori na nesavladivom timskom duhu, suvoditelju, cimeru i ponajprije prijatelju Davidu, ali i ostalim Šišmišarima i Spelićima na nezaboravnim terenskim, kafanskim i brvnarskim avanturama.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Veličina pologa i jaja crvenokljune čigre *Sterna hirundo* u morskim i slatkovodnim kolonijama Republike Hrvatske

Toni Kočevar

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Crvenokljuna čigra *Sterna hirundo* migratorna je ptica iz porodice Laridae koja se gnijezdi kolonijalno na morskim i slatkovodnim staništima. Karakteriziraju ih mali broj jaja (prosječno tri) i asinhrono izlijevanje ptića. To podrazumijeva redukciju veličine jaja ovisno o vremenu polaganja, čime se smanjuje šanse za preživljavanje ptića. U istraživanju veličine pologa i jaja crvenokljunih čigri, podaci su prikupljeni iz četiri slatkovodne i šest morskih kolonija u Republici Hrvatskoj tijekom 2021. – 2024. godine. Izmjerene vrijednosti visine i širine jaja korištene su za izračun volumena jaja. U analizi su korištena četiri nezavisna parametra: godina, stanište (morsko ili slatkovodno), područje (dolina Save i Drave te Sjeverni i Srednji Jadran) i vrijeme polaganja pologa (rani ili kasni polozi). U analizi veličine pologa u vrijeme polaganja nije uključeno, ali je uključena veličina kolonije. Statistička analiza provedena je u programskom jeziku R 4.4.0 primjenom višestruke linearne regresije. Utvrđene su značajne razlike u ukupnom volumenu i volumenu najvećih jaja ovisno godini, pri čemu su veća jaja zabilježena tijekom 2023. i 2024. godine, što ukazuje na lošije uvjete gniježđenja 2021. i 2022. Značajne su razlike utvrđene i za redukcije veličine srednjih i najmanjih jaja, pri čemu su najveće redukcije zabilježene u kasnim položima morskih kolonija, što ukazuje na lošije uvjete u morskim staništima, ali i općenito tijekom kasnog gniježđenja. Veličina kolonije nije značajno utjecala na veličinu pologa, koja je najviše ovisila o području gniježđenja čime se dodatno ističe utjecaj staništa na gniježđenje ove vrste.

Ključne riječi: Laridae, gniježđenje, reproduktivni uspjeh, stanišni utjecaji, konzervacija
(46 stranica, 10 slika, 12 tablica, 90 literaturnih navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Mentor: nasl. izv. prof. dr. sc. Jelena Kralj

Ocjenitelji:

nasl. izv. prof. dr. sc. Jelena Kralj

izv. prof. dr. sc. Zoran Marčić

prof. dr. sc. Antun Alegro

Rad prihvaćen: 7. studenog 2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master thesis

Clutch and egg size of the common tern *Sterna hirundo* in marine and freshwater colonies in the Republic of Croatia

Toni Kočevar

Rooseveltovej trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

The common tern *Sterna hirundo* is a migratory bird from the Laridae family that nests colonially in marine and freshwater habitats. It is characterized by a small number of eggs (an average of three) and asynchronous hatching of chicks. This results in a reduction of eggs depending on the timing of laying, subsequently decreasing the survival chances of the chicks. In this study of clutch and egg size of common terns, data were collected from four freshwater and six marine colonies in Croatia between 2021 and 2024. The measured values of egg height and width were used to calculate egg volume. Four independent factors were defined for the analysis: year, habitat (marine or freshwater), region and early or late nest). In the analysis of clutch size, the late nest parameter was replaced by the colony size. Statistical analysis was conducted in *R 4.4.0* using multiple linear regression. Significant differences were found in the total volume and volume of the largest eggs depending on the year, with larger eggs recorded in 2023 and 2024, indicating poorer nesting conditions in 2021 and 2022. Significant differences were also found for reductions in medium and smallest eggs, with the highest values recorded in late clutches of marine colonies, suggesting poorer conditions in marine habitats, as well as in general during late nesting. Colony size did not significantly affect clutch size, which was primarily dependent on the region parameter, further emphasizing the impact of habitat on the nesting of this species.

Keywords: Laridae, nesting, reproductive success, habitat impacts, conservation
(46 pages, 10 figures, 12 tables, 90 references, original in: Croatian)
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Adj. Assoc. Prof., PhD Jelena Kralj

Reviewers:

Adj. Assoc. Prof., PhD Jelena Kralj
Assoc. Prof., PhD Zoran Marčić
Prof., PhD Antun Alegro

Thesis accepted: 7th of November 2024

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Morfološke karakteristike..... | 1 |
| 1.2. Geografska i stanišna rasprostranjenost..... | 3 |
| 1.2.1. Populacije na području Republike Hrvatske..... | 6 |
| 1.3. Prehrambene karakteristike..... | 8 |
| 1.4. Reproduktivne karakteristike..... | 11 |
| 1.4.1. Strategija gniježđenja..... | 12 |
| 2. CILJ ISTRAŽIVANJA..... | 14 |
| 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA | 15 |
| 4. MATERIJALI I METODE | 17 |
| 4.1. Prikupljanje podataka | 17 |
| 4.2. Priprema statističke analize | 19 |
| 4.3. Statistička analiza | 20 |
| 5. REZULTATI..... | 22 |
| 5.1. Deskriptivna statistika..... | 22 |
| 5.2. T-test i linearni modeli..... | 27 |
| 5.2.1. Polozi s tri jaja..... | 27 |
| 5.2.2. Broj jaja i veličina kolonije..... | 30 |
| 6. RASPRAVA..... | 32 |
| 6.1. Usporedba pologa s tri jaja | 32 |
| 6.2. Usporedba prosječnog broja jaja po gnijezdu..... | 35 |
| 7. ZAKLJUČAK | 37 |
| 8. LITERATURA | 38 |

KRATICE

$\Delta AICc$ – razlika između modela i modela s najmanjom vrijednošću AICc-a

AICc – *Akaike's information criterion corrected*, kriterij za odabir najboljeg modela

D – regija Drava

Dev – relativna devijanca modela

J – regija Srednji Jadran

K – kopnene, tj. slatkovodne kolonije

KG – oznaka parametra ranog/kasnog gnijezda

KG₀ – rana gnijezda

KG₁ – kasna gnijezda

M – morske kolonije

N_a – prosječni broj jaja po gnijezdu u određenoj koloniji

np – broj parametara modela

P – regija Sjeverni Jadran

R₂ – redukcija drugog jaja, tj. postotak smanjenja drugog jaja u odnosu na prvo

R₃ – redukcija trećeg jaja, tj. postotak smanjenja drugog jaja u odnosu na drugo

S – regija Sava

V₁ – volumen svih prvih, tj. najvećih jaja unutar pojedinog legla u koloniji

V₂ – volumen svih drugih, tj. srednjih jaja unutar pojedinog legla u koloniji

V₃ – volumen svih trećih, tj. najmanjih jaja unutar pojedinog legla u koloniji

V_{uk} – ukupni volumen jaja izmjerenih unutar pojedinog legla u koloniji

VK – veličina kolonije (određena brojem gnijezda)

W_i – značajnost Akaike-modela

1. UVOD

1.1. Morfološke karakteristike

Crvenokljuna čigra, *Sterna hirundo* Linnaeus, 1758, kolonijalna je ptica koja pripada porodici galebova (Laridae) (Slika 1.). Duljina tijela od vrha kljuna do vrha repa iznosi joj od 34 do 37 cm, dok joj je raspon krila između 70 i 80 cm (Svensson i sur. 2009). Prepoznatljiva je po karakterističnom crnom obojenju tjemena, ušiljenom narančastom kljunu s crnim vrhom, tamnom klinu na natkrilju kojeg tvori 4-6 vanjskih tamnije obojenih primara, te bijelom račvastom repu (Svensson i sur. 2009). Anatomskom građom najbližija je arktičkoj čigri, *Sterna paradisaea* Pontoppidan, E 1763, pri čemu je osnovna razlika u veličini, tj. crvenokljuna je čigra veće mase i površine krila (Craik 1998). Prema Clappu i sur. (1983), crvenokljuna čigra ima i nešto duže noge i stopala što je dodatno odiže od tla i čini većom (Svensson i sur. 2009). Zbog karakterističnog načina leta iznad vodenih površina te račvastog oblika repa može podsjetiti na lastavice (Martinović 2024). Kao i kod ostalih pripadnika porodice galebova, mužjake i ženke vrlo je teško razlikovati prema morfološkim karakteristikama (Craik 1999). Iako, prema Craiku i sur. (1999), mužjake i ženke moguće je odvojiti na temelju dužine od vrha kljuna do stražnjeg dijela glave s 95 %-tnom sigurnošću. Nadalje, prema White i Kehoe (2001), juvenilne jedinke crvenokljune čigre mogu se razlikovati od onih odraslih na temelju obojenosti perja (Slika 2.). To se najbolje očituje za vrijeme sezone gniježđenja kada karakteristike poput bijele mrlje na čelu, crnog kljuna i istrošenih sivkastih mrlja na leđima (Svensson i sur. 2009) ukazuju na spolno nezrelu, tj. juvenilnu jedinku (White i Kehoe 2001).



Slika 1. Crvenokljuna čigra (autor: Tomislav Mikić)



Slika 2. Morfološke karakteristike i razlike između juvenilne (gore) i odrasle jedinke (dolje) crvenokljune čigre (autor: Zlatko Torbašinović)

1.2. Geografska i stanišna rasprostranjenost

Crvenokljuna čigra migratorna je ptica koja se gnijezdi isključivo na području holarktika (Monticelli i sur. 2006), pri čemu je najveći broj gnijezdećih parova prisutan na području zapadnog palearktika (Slika 3.) (Becker i Ludwigs 2004). Prema Beckeru i Ludwigsu (2004) područje zapadnog palearktika broji između 265 000 i 600 000 gnijezdećih parova, pri čemu se između 248 000 i 500 000 gnijezdi na području Europe. Crvenokljune čigre naseljavaju slatkovodna i morska staništa na kojima formiraju gnijezdeće kolonije (DiCostanzo 1980). Prema Larssonu i Olsenu (2010) prilikom odabira pogodnog staništa za gniježđenje, crvenokljune se čigre oslanjaju na dva čimbenika: izolacija od predatora i dostupnost pouzdanih izvora hrane.

Slatkovodna staništa najčešće podrazumijevaju šljunkovite nasipe, obale i otočiće na jezerskim ili riječnim područjima (Becker i Ludwigs 2004). Veliki problem tim gnijezdilištima predstavljaju antropogeni utjecaji poput regulacija riječnih tokova u svrhu proizvodnje hidroenergije (Müller 2018). Posljedično, dolazi do gubitka prirodnih slatkovodnih gnijezdilišta (Raab 1998), ali i početka gniježđenja na određenim antropogenim strukturama (šljunčani otočići i nasipi, različite platforme) (Becker i Sudmann 1998). Danas se slatkovodne populacije crvenokljune čigre u velikom broju europskih zemalja uglavnom gnijezde na umjetnim antropogenim staništima (Coccon i sur. 2018; Müller 2018; Kralj i sur. 2019).

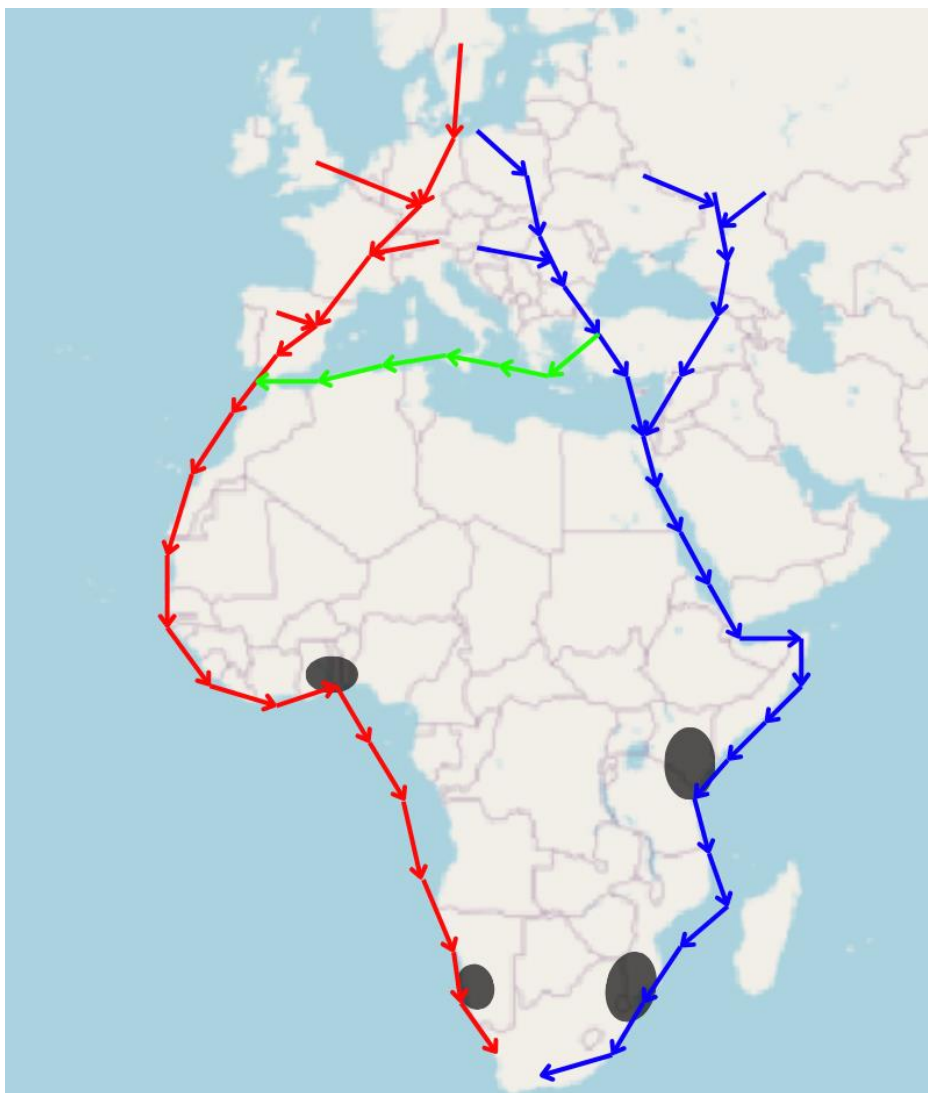
Morskim populacijama odgovarajuća staništa predstavljaju niske pjeskovite obale i lagune (Fasola i Canova 1992) i stjenoviti priobalni otočići s malom količinom vegetacije (Nisbet 2002; Martinović 2024). Stoga, obalno područje isprva se čini kao vrlo pogodno stanište, osobito na području Mediterana (Fasola i Canova 1992), ali detaljnijim pregledom ustvrđuje se kako postoji vrlo malo područja koja zadovoljavaju sve potrebne uvjete gniježđenja (Tome i sur. 2019). To potkrepljuje broj parova crvenokljune čigre koji se gnijezde na području hrvatskog priobalja koji iznosi samo između 200 i 500 parova, usprkos duljini i razvedenosti hrvatskog priobalnog područja (Kralj i sur. 2013; Tome i sur. 2019).

Tijekom zimskih mjeseci crvenokljune čigre migriraju na zimovališta u priobalnim područjima južne hemisfere (Slika 3.) (Kralj i sur. 2020). Za europske populacije poznato je više migracijskih ruta – zapadne populacije migriraju duž zapadne obale Europe i Afrike, dok populacije Središnje i Istočne Europe imaju nešto složenije rute (Kralj i sur. 2020). Naime, one ili prelaze Sredozemno more s istoka ka zapadu te se pridružuju zapadnoeuropskim populacijama u migraciji duž zapadne

obale Afrike, ili prelaze istočno Sredozemlje i Crveno more te u konačnici migriraju duž istočne afričke obale (Slika 4.) (Cramp i Simmons 2006; Kralj i sur. 2020).



Slika 3. Prikaz globalne rasprostranjenosti crvenokljune čigre; žuta boja označava područja gniježđenja, dok plava označava područja zimovanja (preuzeto iz: Mejías 2017)



Slika 4. Pojednostavljeni prikaz migracijskih ruta europskih populacija crvenokljune čigre; crvenom bojom označena je migracijska ruta duž zapadnoafričke obale, plavom duž istočnoafričke obale, a zelenom migracijska ruta istočnoeuropskih populacija koje migriraju zajedno sa zapadnoeuropskim; crne elipse prikazuju lokacije zimovaništa (izrađeno u programima *QGIS 3.34.1* i *Microsoft Paint Version 22H2* (Microsoft Corporation 2023), prema: Kralj i sur. 2020; Piro i Schmitz Ornés 2022)

1.2.1. Populacije na području Republike Hrvatske

Crvenokljune čigre na područje Republike Hrvatske dolaze tijekom travnja gdje se kolonijalno gnijezde (Martinović 2024). Ukupna gnijezdeća populacija procijenjena je na 400 do 700 parova (Kralj i sur. 2013). Prema Radović i sur. (2003) crvenokljuna čigra na području Hrvatske ima status NT, tj. niskorizične vrste, uglavnom zbog negativnog antropogenog utjecaja na prirodna staništa za gniježđenje, ali i uznemiravanja tijekom sezone gniježđenja. Najznačajnije gnijezdeće kolonije crvenokljune čigre zabilježene su u porječjima rijeke Save i Drave, dok su manje, dislocirane kolonije prisutne u priobalju (Kralj i sur. 2013). Područje Hrvatske napuštaju nakon gniježđenja, tj. sredinom rujna te migriraju ka južnoj polutci (Slika 4.) (Kralj i sur. 2013; Kralj i sur. 2020).

Najveće poznate kolonije crvenokljune čigre kontinentalne Hrvatske nalaze se na šljunčarama Rakitje i Siromaja 2 (Slika 5.) u okolici Zagreba te šljunčari Šoderica u okolici Koprivnice (Kralj i sur. 2013), dok su manje kolonije zabilježene na riječnim sprudovima na porječju rijeke Save i Drave (Kralj i sur. 2013). Te manje kolonije najčešće se pojavljuju povremeno kada uslijed niskoga vodostaja iznad površine izbiju pogodni sprudovi i otočići (Kralj i sur. 2019).

Morske populacije prisutne su na Sjevernom i Srednjem Jadranu (Kralj i sur. 2013). Na Sjevernom Jadranu ističe se kolonija s 40-ak parova u Pulskom zaljevu (Kralj i sur. 2024), dok su populacije Srednjeg Jadrana značajno manje i raštrkane na nekoliko nenaseljenih priobalnih otočića između Zadra i Šibenika (Kralj i sur. 2013).



Slika 5. Platforma namijenjena gniježđenju crvenokljunih čigri na jezeru Siromaja 2 (autor: Zeleni prsten, JU Zagrebačke županije)

1.3. Prehrambene karakteristike

Ishrana crvenokljunih čigra najčešće je piscivorna, ali zabilježena su i hranjena rakovima, kukcima te povremeno lignjama na morskim staništima (Erwin 1977; Becker i Ludwigs 2004). Često, kada je dostupna velika količina hrane, tj. ribe, čigre će uhvatiti više ribe nego što im je potrebno te ju pohraniti u blizini gnijezda za kasnije (Arnold i sur. 2020). Plijen hvataju pri površini vode tehnikom *plunge-diving*-a, karakterističnom za većinu morskih ptica (Erwin 1977; Chang i sur. 2016). *Plunge-diving* podrazumijeva let iznad površine vode te nagli uron do 60-ak centimetara, pri čemu im krila ostaju najčešće iznad površine vode (Erwin 1977; Chang i sur. 2016; Hulsman i Tularam 2021). Takva tehnika lova ograničava ih na manje ribe pri vrhu vodenog stupca (Cabot i Nisbet 2013). Stoga, osim iskustva i sposobnosti lova koje jedinka posjeduje (Marchetti i Price 1989), važni su i biološki i fizikalni procesi koji približavaju plove riba ka površini (Martinović 2024). Prema Stienenu i sur. (2000) najvažniji biološki procesi su dnevne vertikalne migracije plijena, a prema Safini i Burger (1988) prisutnost vodnih predatora koji tjeraju plijen prema površini. Nadalje, i fizikalni procesi, poput mjesečevih mijena ili morskih struja, također dovode do vertikalnih migracija plijena (Stienen i sur. 2000; Holm i Burger 2002; Zamon 2003). Usprkos tome, crvenokljune čigre nisu isključivi piscivori, već generalisti, što podrazumijeva promjenu ishrane u slučajevima smanjenja količine prvotnoga plijena (Stienen i sur. 2000; Goyert 2015). Kako su crvenokljune čigre kolonijalne ptice, na smanjenje količine plijena može utjecati i veličina kolonije (Szostek i sur. 2014). Velike plove ribe privlače velika jata piscivornih ptica, pri čemu često dolazi do međusobnih krađa ili pokušaja krađa ulova (Erwin 1977). Stoga, ako hrana nije dostupna u većim količinama, crvenokljune čigre primjenjuju samostalni lov ili lov u manjim skupinama na više lokacija u radijusu od maksimalno 20-ak kilometara od kolonije kako bi se smanjila kompeticija među jedinkama iste kolonije (Erwin 1977; Duffy 1986; Nisbet 2002).

Kako su crvenokljune čigre ptice slatkovodnih i morskih staništa, logično je zaključiti kako će se hraniti i različitom vrstom hrane ovisno o staništu (Mauco i Favero 2005). Rad Beckera i sur. (1997) pokazuje kako je najistaknutija razlika u hranjenju na slatkovodnim i morskim staništima u dostupnosti hrane. Na morskim staništima na dostupnost hrane uvelike utječu plima i oseka (Schwemmer i sur. 2009, Militão i sur. 2023) i mjesečeve mijene koje dovode do vertikalne migracije plijena i čine ga manje dostupnim tijekom dana, dok na slatkovodnim staništima one nisu izražene pa je dostupnost plijena podjednaka tijekom čitavoga dana (Becker i sur. 1997).

Za populacije koje se gnijezde uz morske obale karakterističan je lov uz obalu i pliće dijelove mora (Burger i Gochfield 1991; Becker i sur. 1993). To dokazuju Monticelli i sur. (2006) tvrdnjom da najveći postotak uspješnog lova crvenokljune čigre ostvaruju u uvučenim plitkim zaljevima. Posebno su pogodna plitka područja su ubrzanim protokom vode (Urmy i Warren 2018). Također, prema Schwemmeru i sur. (2009), najveći postotak lova zabilježen je u vremenu izmjene plime i oseke, dok je s porastom razine mora većina jedinki počela napuštati lovna područja.

Slatkovodne populacije prilikom potrage za hranom prijeđu nešto manje udaljenosti nego one morske, ali karakteristike njima odgovarajućih hranilišta i danas su slabo poznate (Martinović i sur. 2023). Hranu najviše traže uz tokove rijeka, a nerijetko i na manjim jezerima (Kralj i sur. 2024). Nadalje, u prirodnim riječnim staništima, kolonije su smještene na niskim otocima okruženim plitkom vodom, pa se čigre hrane u blizini kolonija, pri čemu love najviše u plićim dijelovima rijeke ili jezera (Martinović i sur. 2023). U većini europskih zemalja slatkovodne populacije crvenokljune čigre se zbog nedostatka prirodnih gnjezdilišta uzrokovanog regulacijom rijeka gnijezde na umjetnim platformama (Coccon i sur. 2018). Ukoliko su te platforme smještene podalje od dobrih hranilišta, jedinke prevaljuju veće udaljenosti do odgovarajućih hranilišta te posljedično troše i više vremena i energije na pronalazak hrane (Martinović i sur. 2023).

Crvenokljune čigre u pravilu hvataju po jedan plijen čime se lov prekida, a plijen se odnosi do gnijezda kako bi se nahranili mladunci (Slika 6.) (Hays i sur. 1973; Fijn i sur. 2024). Rijetko dolazi do pojave kada jedna jedinka prikupi dva ili više komada plijena (Hays i sur. 1973). Kako se nakon svakog ulova moraju vratiti na gnijezdo, vrsta se karakterizira kao *central-place foragers*, tj. potraga za hranom im je ovisna o središnjem mjestu (u ovom slučaju središnje mjesto jest lokacija kolonije, tj. gnijezda) (Labbé i sur. 2013; Fijn i sur. 2024). Nadalje, tijekom dana mladuncima se nekoliko puta donosi hrana (Hamer i sur. 2001), što ograničava roditelje na odabir lokacija za lov nekoliko kilometara od gnijezda radi ekonomičnosti potrošnje energije (Erwin 1977; Pyke 1984; Nisbet 2002; McLeay i sur. 2010). Izvan sezone gniježđenja, jedinke će više vremena provoditi u lovu te će hranu tražiti na udaljenijim lokacijama zbog nepostojanja potrebe za inkubacijom i brigom o mladuncima (Becker i sur. 1993). Prema Pykeu (1984) i teoriji optimalnog hranjenja roditelji će preletjeti veće udaljenosti samo u slučajevima ako je na tim lokacijama količina hrane veća, tj. prijeđeni put do te lokacije će biti energetski isplativ. Osim razlike u udaljenosti područja hranjenja ovisno o stadiju godišnjeg ciklusa, postoje i razlike u udaljenosti letova među spolovima

(Militão i sur. 2023). Primjerice, za vrijeme sezone gniježđenja, ženke će hranu tražiti u plićim priobalnim vodama u blizini gnijezda, dok će se mužjaci odvažiti na nešto dalje letove (Militão i sur. 2023). Pri tome će ženka manje vremena izbivati iz kolonije te će moći efikasnije inkubirati jaja, a mužjak će tražiti udaljenija hranilišta radi osiguravanja dodatnih izvora hrane (Militão i sur. 2023).



Slika 6. Crvenokljuna čigra s uhvaćenim plijenom (autor: Tomislav Mikić)

1.4. Reproduktivne karakteristike

Nakon povratka sa zimovališta ženke dolaze na gnijezdilišta, gdje imaju aktivnu ulogu u odabiru partnera, pri čemu im se mužjaci udvaraju uhvaćenim plijenom (González-Solís i sur. 2001). Sredinom travnja počinju se formirati gnijezdeće kolonije, a početkom svibnja dolazi do polaganja jaja (Burger i Gochfeld 1991; Becker i Ludwigs 2004). Kao i većinu morskih ptica, reprodukciju crvenokljunih čigri karakteriziraju kasno spolno sazrijevanje, monogamnost te mali broj mladunaca u leglu (González-Solís i sur. 2001; Whittow i sur. 2002). Ženka polaže 1 do 4 jaja (najčešće 3), a sama inkubacija traje 20-ak dana (Slika 7.) (Burger i Gochfeld 1991). Nakon 3 do 4 tjedana izliježu se ptići koji su djelomični potrkusci (Becker i Ludwigs 2004). Već 3 do 4 dana nakon izlijeganja, ptići su sposobni napustiti gnijezdo, ali i dalje ostaju ovisni o roditeljima koji ih hrane (Becker i Ludwigs 2004). U hranjenju ptića sudjeluju oba roditelja, pri čemu tijekom prvih nekoliko dana ženka više vremena provodi uz gnijezdo pazeći na mladunce, dok je mužjak zadužen za traženje hrane (Becker i Ludwigs 2004). Nakon opernaćivanja, tj. mjesec dana nakon izlijeganja, mladunci su sposobni u potpunosti napustiti gnijezdo (Burger i Gochfeld 1991). Spolnu zrelost dosežu tek s napunjene tri godine života (Burger i Gochfeld 1991). Crvenokljune čigre najčešće imaju jedan polog tijekom godine, ali u slučaju njegova propadanja, mogu imati i zamjenske pologe, u istoj (Wiggins i sur. 1984) ili drugoj koloniji (Martinović i sur. 2019, Kralj i sur 2024).



Slika 7. Crvenokljuna čigra u procesu inkubacije (autor: Tomica Rubinić)

1.4.1. Strategija gniježđenja

Crvenokljune čigre gnijezde se u kolonijama (Becker i Ludwigs 2004). Takav način gniježđenja osigurava im brojne prednosti, poput olakšanog pronalaska hrane ili zaštite od predatora (Kopachena 1991). Također, uz prednosti, tu su i brojni nedostaci – povećana intraspecijska kompeticija oko hrane, prostora i partnera, povećano privlačenje predatora, ubrzano širenje bolesti itd. (Brown i sur. 1990). Ovisno o različitim biotičkim i abiotičkim čimbenicima koji utječu na njihovo gniježđenje, ptice općenito posjeduju različite mehanizme kojima osiguravaju maksimalnu iskoristivost energije uložene u razmnožavanje (Slagsvold i sur. 1984). Primjerice, prema Barbouru i sur. (2000), postoji značajna razlika u veličini jaja i preživljavanju mladunaca crvenokljune čigre ovisno o položaju i udaljenosti između gnijezda. Pri tome najveća će jaja imati gnijezda smještena u sredini kolonije u blizini drugih gnijezda, dok će najmanja imati ona udaljenija gnijezda pri rubu kolonije. Moguća je korelacija prethodne hipoteze s hipotezom o zaštiti od predatora, pri čemu su gnijezda u središtu kolonije manje izložena predatorskom pritisku. Postoje i brojni drugi mehanizmi i čimbenici optimalnog kolonijalnog gniježđenja, ali Slagsvold i sur. (1984) govore kako je najznačajniji čimbenik sama veličina pologa. U crvenokljunih čigri, kao i kod ostalih pripadnika porodice Laridae, izlijeganje je asinhrono, tj. mladunci se ne izliježu istovremeno, već ovisno o vremenu poretku polijeganja jaja (Bollinger i sur. 1990). Pri tome dolazi do redukcije veličine jaja, tj. svako jaje je nešto manje i lakše u usporedbi s prije položenim (Bollinger i sur. 1990, Bollinger 1994). Sukladno tome, mladunci koji se izliježu prvi, tj. iz jaja veće mase koje sadrži veću količinu žumanjka, imat će veću masu od drugih mladunaca unutar istog legla, a time i veću šansu za preživljavanjem (Langham 1972; Bollinger 1994; Williams 1994; Krist 2011). Prema Williamsu i sur. (1994) količina žumanjka u jajima adaptivna je strategija ženke za što efikasnije ulaganje energije u produkciju jaja, dok Krist (2011) pokazuje kako veličina jaja, a osobito redukcija zadnjeg jaja najviše ovise o dostupnosti hrane. Slagsvold i sur. (1984) takav mehanizam nazivaju strategijom redukcije pologa (*brood-reduction strategy*), gdje mladunac iz zadnjeg položenog jaja ima male izgleda za preživljavanjem u lošim okolišnim uvjetima, a relativno velike u dobrim okolišnim uvjetima.

Na uspješnost preživljavanja mladunaca utječe i sposobnost roditelja za podizanje mladunaca (Bollinger 1994). Mladunci će imati veću šansu za preživljavanjem ako roditelji izaberu kvalitetnije stanište, ako veću količinu vremena provode na gnijezdu te ako češće pronalaze hranu

(Krist 2011). Nisbet i sur. (1984) govore kako starije, iskusnije ptice liježu ranije, imaju veće pologe te puno više vremena posvećuju inkubaciji, ali i hranjenju mladunaca. Također, starije ptice biraju i kvalitetnija mjesta za gniježđenje (u sredini kolonije), s malim predatorskim pritiskom, ali i manjom mogućnošću otplavlivanja gnijezda.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Kako se crvenokljune čigre gnijezde na slatkovodnim i morskim staništima između kojih postoji razlika u količini i vrsti dostupnog plijena (Becker i sur. 1997), dolazi do razlike u uloženoj energiji roditelja u inkubaciji te u podizanju mladunaca (Slagsvold i sur. 1984). Te se razlike najviše očituju u korelaciji volumena jaja i redoslijeda polaganja jaja (Slagsvold i sur. 1984). Kako bih utvrdio postoji li povezanost veličine pologa i veličine jaja s tipom staništa kod morske i slatkovodne populacije crvenokljune čigre u Hrvatskoj napravio sam sljedeće analize:

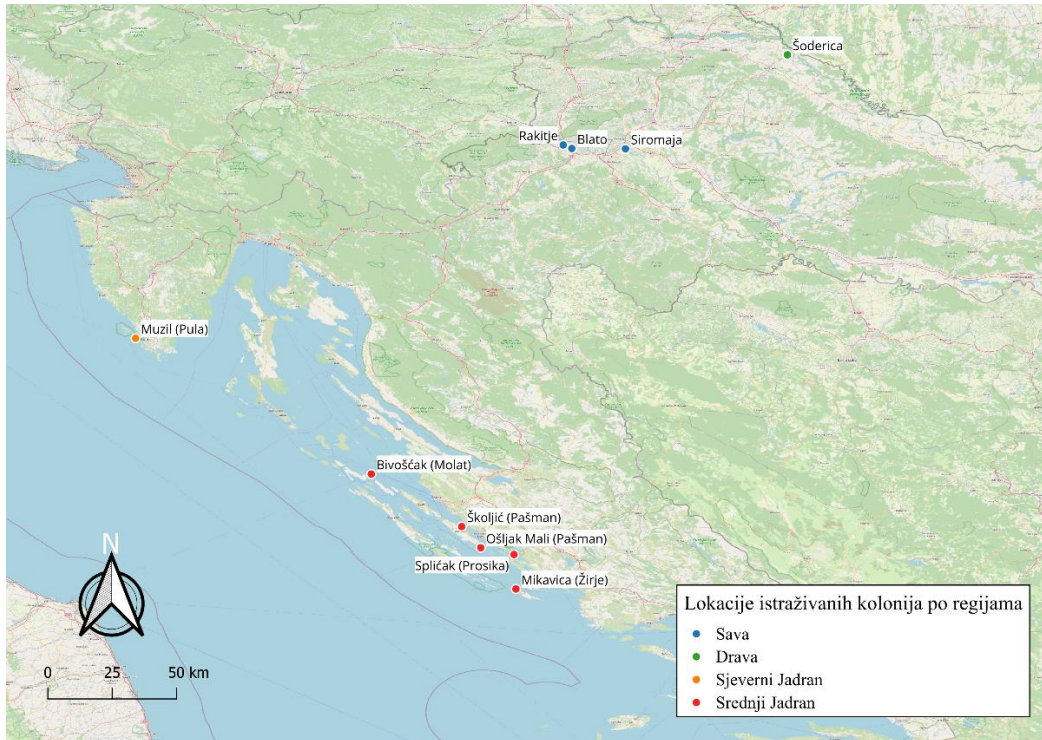
- usporedbu razlike u veličini pologa i jaja između morske i slatkovodne populacije
- usporedbu veličine jaja unutar pologa iste populacije (morske i slatkovodne)
- utvrđivanje stope smanjenja posljednjeg jaja u pologu
- utvrđivanje utjecaja veličine kolonije na prosječni broj jaja unutar pripadajućih gnijezda

3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Podaci korišteni u ovom istraživanju prikupljeni su sklopu projekta IP-2020-02-8793 „Kopno ili more: ekološki i genetički aspekti izbora staništa crvenokljune čigre“ od 2021. do 2024. godine. Podatke su prikupili djelatnici Zavoda za ornitologiju Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti na ukupno 10 kolonija crvenokljune čigre na području Republike Hrvatske, od kojih je četiri bilo na slatkovodnim, a šest na morskim lokalitetima (Tablica 1.) (Slika 8). Slatkovodni lokaliteti podrazumijevali su područje sjeverozapadne Hrvatske, tj. porječja rijeke Save u blizini Zagreba i rijeke Drave u blizini Koprivnice. Na savskom području proučavane su tri kolonije (na šljunčanim otocima na Rakitju i Blatu, te na platformi na Siromaji), dok je na dravskom proučavana samo jedna kolonija na šljunčanom otoku na Šoderici. Morski lokaliteti podijeljeni su na područja Sjevernog i Srednjeg Jadrana. Na Sjevernom Jadranu proučavana je kolonija na antropogenim kamenim molovima smještenim na izlasku iz pulskog zaljeva (lokacija Muzil). Na području Srednjeg Jadrana proučavano je nekoliko manjih kolonija smještenih na četiri mala nenastanjena otoka između Zadra i Šibenika (Školjić istočno od Pašmana, Ošljak Mali južno od Pašmana (Slika 9.), Splićak u blizini Prosika te Mikavica sjeverno od Žirja), te na otočiću Bivoščaku smještenom jugoistočno od otoka Molata.

Tablica 1. Popis lokacija kolonija zahvaćenih istraživanjem s njihovim geografskim koordinatama

| Naziv lokaliteta | Regija | Geografske koordinate |
|-------------------------|-----------------|------------------------------|
| Blato, Zagreb | Sava | 45,780° N, 15,881° E |
| Rakitje, Zagreb | Sava | 45,797° N, 15,840° E |
| Siromaja, Zagreb | Sava | 45,779° N, 16,137° E |
| Šoderica, Koprivnica | Drava | 46,227° N, 16,909° E |
| Muzil, Pula | Sjeverni Jadran | 44,875° N, 13,802° E |
| Bivoščak, Molat | Srednji Jadran | 44,228° N, 14,925° E |
| Školjić, Pašman | Srednji Jadran | 43,977° N, 15,356° E |
| Ošljak Mali, Pašman | Srednji Jadran | 43,876° N, 15,447° E |
| Splićak, Prosika | Srednji Jadran | 43,844° N, 15,606° E |
| Mikavica, Žirje | Srednji Jadran | 43,679° N, 15,615° E |



Slika 8. Lokaliteti kolonija u kojima su prikupljene mjere jaja za provedbu istraživanja, pri čemu su pojedinačni lokaliteti pridruženi odgovarajućoj regiji (karta izrađena u programu *QGIS 3.34.1* (QGIS Development Team 2023))



Slika 9. Otočić Ošljak Mali kod Pašmana (autor: Maja Bjelić Laušić)

4. MATERIJALI I METODE

4.1. Prikupljanje podataka

Na svakoj koloniji djelatnici Zavoda za ornitologiju zabilježili su broj svih pologa i jaja u njima u razdoblju od sredine svibnja do početka srpnja. Nadalje, izmjerili su minimalno 50 jaja po koloniji (pod uvjetom da je ukupni broj jaja unutar kolonije bio veći od 50). Prikaz veličine kolonije i izmjerenog broja jaja nalazi se u Tablici 2. Pomičnom mjerkom marke *Somet* izmjerena je najveća visina i najveća širina svakog jaja unutar pologa, pri čemu su vrijednosti zaokružene na stoti dio milimetra (0.01 *mm*). Izmjerene vrijednosti svakog jajeta pohranjene su u tablicu programa *Microsoft Excel Version 16.0* (Microsoft Corporation 2021), pri čemu je za svako jaje dodana kategorija godine, lokaliteta, regije, kasnog ili ranog pologa te ukupnog broja jaja unutar pripadajućeg gnijezda. Polozi u kojima su jaja položena u svibnju bili su označeni kao rani, dok su oni u kojima su jaja bila položena u lipnju bili označeni kao kasni. Datum polaganja jaja određen je pomoću tehnike plutajućeg jaja prema Haysu i LeCroyu (1971).

Tablica 2. Veličina kolonije (broj gnijezda) i broj jaja ovisno o godini; D – regija Drava, J – regija Srednji Jadran, KG₀ – polozi iz svibnja, KG₁ – polozi iz lipnja, P – regija Sjeverni Jadran, S – regija Sava

| Naziv lokaliteta | Regija | Godina | Broj gnijezda | Broj jaja |
|----------------------------|---------------|---------------|----------------------|------------------|
| Rakitje | S | 2021. | 103 | 240 |
| Siromaja | S | 2021. | 55 | 132 |
| Šoderica | D | 2021. | 66 | 143 |
| Školjić (KG ₀) | J | 2021. | 29 | 60 |
| Školjić (KG ₁) | J | 2021. | 28 | 54 |
| Splićak | J | 2021. | 24 | 58 |
| Rakitje | S | 2022. | 25 | 60 |
| Siromaja | S | 2022. | 64 | 170 |
| Blato | S | 2022. | 100 | 267 |
| Školjić | J | 2022. | 32 | 74 |
| Splićak | J | 2022. | 3 | 9 |
| Siromaja | S | 2023. | 67 | 163 |
| Pula (KG ₀) | P | 2023. | 42 | 117 |
| Pula (KG ₁) | P | 2023. | 37 | 81 |
| Školjić | J | 2023. | 23 | 54 |
| Šoderica | D | 2023. | 14 | 24 |
| Siromaja | S | 2024. | 26 | 72 |
| Pula | P | 2024. | 33 | 83 |
| Ošljak Mali | J | 2024. | 18 | 46 |
| Školjić (KG ₀) | J | 2024. | 6 | 8 |
| Školjić (KG ₁) | J | 2024. | 4 | 6 |
| Bivošćak | J | 2024. | 12 | 27 |
| Mikavica | J | 2024. | 19 | 37 |

4.2. Priprema statističke analize

Prilikom obrade podataka u obzir sam uzimao samo pologe koji su brojali isključivo tri jaja vodeći se pretpostavkom najbolje reprezentativnosti podataka. U statističku analizu uključio sam ukupno 633 jaja iz 211 pologa, čije su vrijednosti izmjerene u sezonama gniježđenja od 2021. do 2024. godine. S druge strane, u statističku analizu utjecaja različitih čimbenika na prosječni broj jaja po pologu u određenoj koloniji ulazilo je ukupno 1827 jaja iz 752 gnijezda (isključivo rani polozi) prebrojanih u sezonama gniježđenja od 2021. do 2024.

Sve izmjerene vrijednosti, prethodno kategorizirane u tablici programa *Microsoft Excel Version 16.0* (Microsoft Corporation 2021), uvrstio sam u formulu za određivanje volumena jaja [$V = L \times B^2 \times k$], gdje je V volumen jaja (mm^3), L najveća visina jaja (mm), B najveća širina jaja (mm), a k konstanta specifična za vrstu ptice (Hoyt 1979). Prema Moore i sur. (2000), vrijednost k za crvenokljunu čigru iznosi 0,502. Pomoću volumena jaja mogao sam odrediti koje je jaje najveće, a koje najmanje, tj. koje je prvo sneseno, a koje zadnje. Znajući poredak veličine jaja u određenom gnijezdu, izračunao sam redukcije drugog i trećeg jaja kao postotak promjene volumena u odnosu na prethodno jaje pripadnog pologa. Nadalje, napravio sam deskriptivnu tablicu sa srednjim vrijednostima i standardnim devijacijama visine, širine, volumena i elongacijskog indeksa prvih, drugih, trećih i svih jaja zajedno ovisno o godini i regiji uzorkovanja.

Za analiziranje utjecaja različitih čimbenika na prosječni broj jaja po pologu u određenoj koloniji koristio sam podatke onih kolonija koje su brojale više od 10 gnijezda. Prosječni broj jaja po gnijezdu u svakoj koloniji izračunao sam podijelivši ukupan broj jaja cijele kolonije s ukupnim brojem gnijezda, tj. veličinom kolonije.

4.3. Statistička analiza

Koristeći prethodno formiranu tablicu s veličinama jaja u gnijezdima s isključivo tri jaja, izradio sam statističke analize i modele u programskom jeziku *R 4.4.0* (R Core Team 2023). Kako bih saznao postoje li inicijalne značajne razlike među određenim parametrima, koristio sam *t-test* za nezavisne uzorke koji uspoređuje srednje vrijednosti navedenih međusobno nepovezanih parametara. Parametri na kojima sam temeljio analizu su: *Godina* (2021. – 2024.), *Stanište* (K – slatkovodne/M – morske), *Regija* (S – Sava/D – Drava/P – Sjeverni Jadran/J – Srednji Jadran) i *Kasno gnijezdo* (KG₀ – rano gnijezdo/KG₁ – kasno gnijezdo), dok sam kao zavisne varijable tretirao sve izmjerene veličine jaja. Odredivši *t-testom* parametre kod kojih je prisutna značajna razlika, detaljniju analizu odradio sam kreiravši linearne modele kombinacija određenih parametara i varijabli. Za analizu sam koristio funkcije *lm* i *lmer* uz pomoć dodatnih paketa programskog jezika *R 4.4.0* (Bates i sur. 2015; R Core Team 2023; Bartoń 2024): Funkcija *lm* (*linear model*) u R-u kreira model linearne regresije prema općoj formuli $y \sim x$, pri čemu je *y* ishodna varijabla, a *x* prediktorska varijabla. Također, kreirao sam i modele višestruke linearne regresije kako bih analizirao utjecaj većeg broja parametara ili njihove međuovisnosti na određenu varijablu. S druge strane, funkcija *lmer* (*linear mixed-effects model*) kreira višestruke linearne regresije pri čemu jedan od parametara ima nasumičan (*random*) utjecaj. Prilikom izrade *lmer*-a kao nasumičnu parametar tretirao sam parametar *Godina*, jer on u većini modela nije bio od izričite važnosti za ostvarivanje ciljeva istraživanja. Za sve varijable i s njima povezane modele kod kojih sam pronašao značajne razlike između kreirao sam potpune modele (*full models*). Potpuni modeli su modeli višestruke linearne regresije u kojima je ishodna varijabla (*y*) varijabla za koju je pronađena razlika, a prediktorske varijable (*x*) su prethodno spomenutih četiri parametra. Pri tome, parametri *Stanište* i *Regija* nisu korišteni istodobno zbog 75 %-tne međusobne korelacije. Za određivanje najboljeg modela koristio sam AICc (*Akaike's information criterion corrected*), koji procjenjuje kvalitetu svakog modela u usporedbi s ostalima. U usporedbu sam uvrstio pojedinačne modele, koji su pokazivali značajnu razliku, zajedno s potpunim modelom. Model s najmanjom AICc vrijednosti najbolje je podržan, tj. najbolje pokazuje razliku među analiziranim varijablama. Također, za dodatnu usporedbu modela koristio sam i jednosmjerni ANOVA test (Khemis i sur. 2021), koji se temelji na procjeni srednjih vrijednosti dva ili više seta podataka. Naposljetku, izračunao sam i relativnu devijancu modela, koja pokazuje recipročnu vrijednost AICc-a, tj.

najbolje podržani model imati će najveću vrijednost relativne devijance, dok će najslabije podržani imati najmanju.

U analizi utjecaja određenih čimbenika na prosječni broj jaja po pologu u nekoj koloniji koristio sam isti proces kao i kod pologa s tri jaja, samo što su glavni parametri bili: *Kolonija* (veličina kolonije, tj. broj pologa), *Stanište* (K/M), *Regija* (S/D/P/J) i *Godina* (2021. – 2024.).

5. REZULTATI

5.1. Deskriptivna statistika

Od četiri godine u kojima je istraživanje provedeno, za dvije godine (2021. i 2024.), veće srednje vrijednosti ukupnog volumena u polozima s tri jaja zabilježene su među kopnenim kolonijama, dok su za druge dvije godine (2022. i 2023.) veće vrijednosti ukupnog volumena zabilježene u morskim kolonijama (Tablica 3.). Pri tome, u 2022. godini zabilježena je nešto veća srednja vrijednost V_{uk} među populacijama Srednjeg Jadrana, dok je u 2023. najveća vrijednost V_{uk} zabilježena na Sjevernom Jadranu (Tablica 3.). Nadalje, u sve četiri godine istraživanja vidljivo je kako najmanje srednje vrijednosti volumena zadnjeg jaja posjeduju morske kolonije, specifično srednjojadranska regija (Tablica 3.) što ukazuje na potencijalno veću redukciju trećeg jaja u tim kolonijama. Također, i najmanja srednja vrijednost V_{uk} zabilježena je u regiji Srednji Jadran u 2024. godini (Tablica 3.), gdje su svi polozi bili kasni, što ukazuje na značajno manje vrijednosti volumena svih jaja u kasnim polozima. Nadalje, u ranim polozima u dvije od četiri godine istraživanja (2021. i 2024.) zabilježena je veća vrijednost ukupnog volumena slatkovodnih populacija, dok je tijekom 2023. ona bila najveća u morskim populacijama Sjevernoga Jadrana (Tablica 4.). Godine 2022. morske su populacije zabilježile nešto veću vrijednost ukupnog volumena, ali i nešto manju vrijednost volumena zadnjeg jaja (V_3) nego slatkovodne populacije pri čemu se dodatno uočava veća vrijednost R_3 morskih populacija (Tablica 4.).

Također, tijekom svih godina istraživanja u kopnenim kolonijama je zabilježen i nešto veći prosječni broj jaja po gnijezdu, izuzev 2023. u kojoj je taj broj nešto veći u morskim kolonijama (Tablice 5. i 6.; Slika 10.).

Tablica 3. Ukupni volumen (V_{uk}), volumen svih najvećih/prvih (V_1), srednjih/drugih (V_2) i najmanjih/trećih jaja (V_3) u svim položajima s po tri jaja izmjerenih u vremenskom periodu 2021. – 2024.; kod svake vrijednosti volumena prvi broj označava njegovu srednju vrijednost, dok drugi broj označava njegovu standardnu devijaciju; D – regija Drava, J – regija Srednji Jadran, P – regija Sjeverni Jadran, S – regija Sava

| Regija | V_{uk} | V_1 | V_2 | V_3 |
|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2021. | | | | |
| S | 18445,29 ± 1050,80 | 18988,59 ± 1027,32 | 18474,31 ± 943,82 | 17872,98 ± 902,68 |
| D | 18861,90 ± 1872,93 | 19777,70 ± 1579,48 | 19057,07 ± 1446,85 | 17750,64 ± 2154,33 |
| J | 18351,72 ± 1533,18 | 19267,39 ± 1371,36 | 18444,83 ± 1377,23 | 17342,94 ± 1269,79 |
| 2022. | | | | |
| S | 18672,90 ± 1520,03 | 19411,90 ± 1470,58 | 18717,61 ± 1321,93 | 17889,69 ± 1382,02 |
| J | 18792,00 ± 1841,26 | 19511,74 ± 1626,60 | 19004,14 ± 1711,50 | 17860,12 ± 1849,02 |
| 2023. | | | | |
| S | 18881,61 ± 1501,53 | 19630,29 ± 1515,75 | 18854,58 ± 1439,73 | 18159,97 ± 1255,00 |
| P | 19086,06 ± 1201,25 | 19831,13 ± 1119,54 | 19065,35 ± 981,07 | 18361,71 ± 1059,80 |
| J | 18794,88 ± 1277,30 | 19648,42 ± 1027,52 | 18778,48 ± 1040,83 | 17957,74 ± 1236,74 |
| 2024. | | | | |
| S | 19183,60 ± 1358,92 | 19839,10 ± 1229,42 | 19180,57 ± 1312,33 | 18531,11 ± 1285,93 |
| P | 18982,90 ± 1390,31 | 19628,87 ± 1082,30 | 19109,88 ± 1144,21 | 18209,97 ± 1588,64 |
| J | 15842,61 ± 2369,84 | 16581,14 ± 2191,74 | 15824,21 ± 2328,48 | 15122,48 ± 2693,17 |

Tablica 4. Ukupni volumen (V_{uk}), volumen svih najvećih/prvih (V_1), srednjih/drugih (V_2) i najmanjih/trećih jaja (V_3) samo ranih pologa s po tri jaja izmjerenih u vremenskom periodu 2021. – 2024.; kod svake vrijednosti volumena prvi broj označava njegovu srednju vrijednost, dok drugi broj označava njegovu standardnu devijaciju; D – regija Drava, J – regija Srednji Jadran, P – regija Sjeverni Jadran, S – regija Sava

| Regija | V_{uk} | V_1 | V_2 | V_3 |
|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2021. | | | | |
| S | 18445,29 ± 1050,80 | 18988,59 ± 1027,32 | 18474,31 ± 943,82 | 17872,98 ± 902,68 |
| J | 18139,43 ± 1527,21 | 19117,32 ± 1198,43 | 18132,69 ± 1505,27 | 17168,29 ± 1362,53 |
| 2022. | | | | |
| S | 18699,78 ± 1584,46 | 19412,72 ± 1594,01 | 18747,52 ± 1428,17 | 17939,1 ± 1392,98 |
| J | 18842,36 ± 1642,36 | 19657,89 ± 1393,00 | 19072,41 ± 1504,01 | 17796,77 ± 1534,25 |
| 2023. | | | | |
| S | 18881,61 ± 1501,53 | 19630,29 ± 1515,75 | 18854,58 ± 1439,73 | 18159,97 ± 1255,00 |
| P | 19072,25 ± 1348,57 | 19907,34 ± 1274,98 | 19012,85 ± 1119,92 | 18296,56 ± 1205,48 |
| J | 18794,88 ± 1277,30 | 19648,42 ± 1027,52 | 18778,48 ± 1040,83 | 17957,74 ± 1236,74 |
| 2024. | | | | |
| S | 19183,60 ± 1358,92 | 19839,10 ± 1229,42 | 19180,57 ± 1312,33 | 18531,11 ± 1285,93 |
| P | 18982,90 ± 1390,31 | 19628,87 ± 1082,30 | 19109,88 ± 1144,21 | 18209,97 ± 1588,64 |

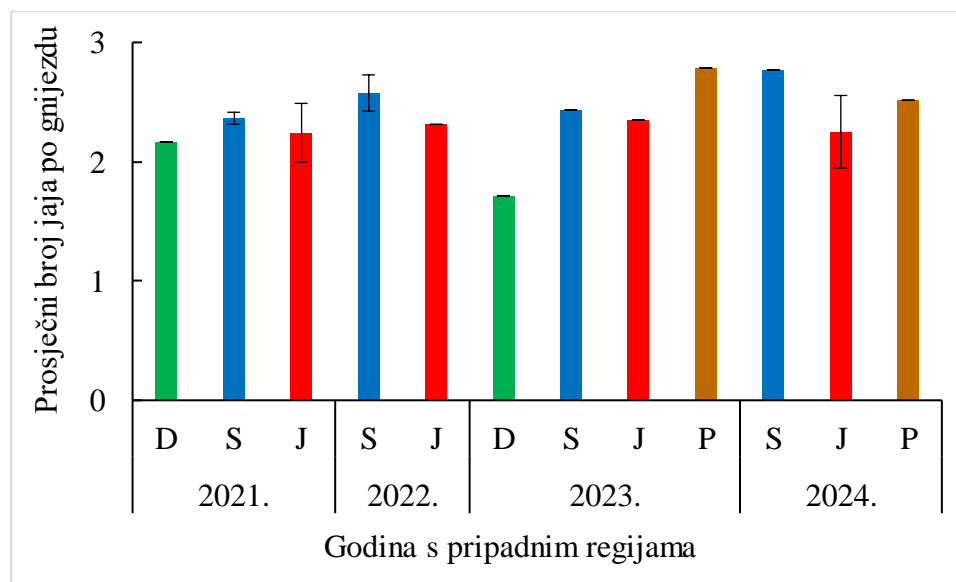
Tablica 5. Prosječni broj jaja po gnijezdu ovisno o regiji, godini prikupljanja podataka i veličini kolonije (broju gnijezda); D – regija Drava, J – regija Srednji Jadran, K – slatkovodno/kopneno stanište, M – morsko stanište, P – regija Sjeverni Jadran, S – regija Sava

| Naziv kolonije | Stanište | Regija | Godina | Broj gnijezda | Prosječni broj jaja po gnijezdu |
|----------------|----------|--------|--------|---------------|---------------------------------|
| Šoderica | K | D | 2021. | 66 | 2,17 ± 0,81 |
| Rakitje | K | S | 2021. | 103 | 2,33 ± 0,69 |
| Siromaja | K | S | 2021. | 55 | 2,40 ± 1,03 |
| Rakitje | K | S | 2022. | 25 | 2,40 ± 0,82 |
| Siromaja | K | S | 2022. | 64 | 2,66 ± 0,64 |
| Blato | K | S | 2022. | 100 | 2,67 ± 0,62 |
| Šoderica | K | D | 2023. | 14 | 1,71 ± 0,61 |
| Siromaja | K | S | 2023. | 67 | 2,43 ± 0,87 |
| Siromaja | K | S | 2024. | 26 | 2,77 ± 0,43 |
| Školjić | M | J | 2021. | 29 | 2,07 ± 0,70 |
| Splićak | M | J | 2021. | 24 | 2,42 ± 0,58 |
| Školjić | M | J | 2022. | 32 | 2,31 ± 0,82 |
| Školjić | M | J | 2023. | 23 | 2,35 ± 0,65 |
| Pula | M | P | 2023. | 42 | 2,79 ± 0,61 |
| Ošljak Mali | M | J | 2024. | 18 | 2,56 ± 0,51 |
| Bivošćak | M | J | 2024. | 12 | 2,25 ± 0,62 |
| Mikavica | M | J | 2024. | 19 | 1,95 ± 0,78 |
| Pula | M | P | 2024. | 33 | 2,52 ± 0,62 |

Tablica 6. Prosječni broj jaja određenog staništa ovisno o godini istraživanja; za morsko stanište 2022. i kopneno stanište 2024. nisu izražene standardne devijacije jer je riječ o uzorkovanju jedne koloniji; K – slatkovodno/kopneno stanište, M – morsko stanište

| Stanište | 2021. | 2022. | 2023. | 2024. |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| K | 2,30 ± 0,12 | 2,58 ± 0,15 | 2,07 ± 0,51 | 2,77 |
| M | 2,24 ± 0,25 | 2,31 | 2,57 ± 0,31 | 2,32 ± 0,28 |

Slika 10. Grafički prikaz prosječnog broja jaja po gnijezdu određene regije tijekom određene godine (izrađeno u programu *Microsoft Excel Version 16.0* (Microsoft Corporation 2021)); D – regija Drava, J – regija Srednji Jadran, P – regija Sjeverni Jadran, S – regija Sava



5.2. T-test i linearni modeli

Rezultati *t-testova* provedenih na prethodno definiranim parametrima pokazuju kako su najznačajnije razlike zabilježene između populacija s jajima izmjerenim u 2024. godini. Pri tome, značajna razlika prisutna je između jaja kopnenih i morskih populacija. Specifičnije, u istoj godini polozi srednjojadranske regije pokazuju značajnu razliku u usporedbi s položima savske (V_{uk} , $t = -7,068$, $p < 0,05$) i sjevernojadranske regije (V_{uk} , $t = -6,375$, $p < 0,05$). Kako su polozi srednjojadranske regije 2024. godine isključivo kasni polozi, zabilježena je i značajna razlika između kasnih i ranih pologa morskih populacija navedene godine (V_{uk} , $t = -6,375$, $p < 0,05$). Usporedbom srednjojadranskih pologa 2024. godine s položima ostale tri godine (2021. – 2023.) također su utvrđene značajne razlike između 2024. i svake od tri preostalih godina (2021.: V_{uk} , $t = -6,852$, $p < 0,05$; 2022.: V_{uk} , $t = -6,512$, $p < 0,05$; 2023.: V_{uk} , $t = -6,185$, $p < 0,05$). Kod kopnenih populacija najznačajnije razlike pokazuju usporedbe kopnenih populacija 2024. s kopnenim populacijama 2021. (V_{uk} , $t = 2,162$, $p < 0,05$) i 2022. (V_{uk} , $t = 2,770$, $p < 0,05$).

Rezultati provedenih modela višestruke linearne regresije ukazuju na dodatne razlike između parametara i varijabli.

5.2.1. Polozi s tri jaja

Prilikom kreiranja linearnih modela u analize je uključeno ukupno 211 pologa izmjerenih u različitim regijama tijekom četiri godine istraživanja (2021. – 2024.).

Varijable koje su pokazivale značajne razlike za određene parametre su: ukupni volumen (V_{uk}) (Tablica 7.), volumen svih najvećih/prvih jaja pojedinog legla (V_1) (Tablica 8.), redukcija drugog (R_2) (Tablica 9.) i trećeg jaja (R_3) (Tablica 10.), te redukcija trećeg jaja u ranim položima (Tablica 11.). U modelima je *intercept* uključivao 2021. godinu, regiju Drava, slatkovodno stanište i rane pologe. Najznačajniji utjecaj na varijablu V_{uk} imao je parametar *Godina*, pri čemu su jaja izmjerena tijekom 2023. ($t = 1,795$, $p < 0,05$) i 2024. ($t = 2,012$, $p < 0,05$), a u manjoj mjeri i ona iz 2022. ($t = 0,969$, $p < 0,05$) imala veći ukupni volumen od onih izmjerenih 2021. (Tablica 7.). Parametar *Godina* imao je najznačajniji utjecaj i na varijablu V_1 , pri čemu su najveće vrijednosti V_1 zabilježene tijekom 2023. ($t = 1,845$, $p < 0,05$) i 2024. godine ($t = 1,657$, $p < 0,05$) (Tablica 8.). S druge strane, na varijable R_2 i R_3 u svim položima najznačajniju je razliku ostvario međusobni

utjecaj parametara *Stanište* i *Kasno gnijezdo*. Vrijednosti obiju redukcija najveće su u kasnim položima morskih kolonija (R_2 : $t = 2,123$, $p < 0,05$; R_3 : $t = 2,131$, $p < 0,05$) (Tablice 9. i 10.). U svim ranim položima s tri jaja najznačajnija razlika je zabilježena za varijablu R_3 utjecajem parametra *Regija*. Pri tome, najmanje su redukcije zadnjih jaja ranih pologa zabilježene u populacijama Sjevernog Jadrana ($t = 1,580$, $p < 0,05$) i porječja Save ($t = 2,957$, $p < 0,05$) (Tablica 11.).

Tablica 7. Prikaz linearnih modela utjecaja četiri parametra na promjenu vrijednosti V_{uk} unutar kolonije, pri čemu je posljednji prikazan potpuni, tj. *full model*, a prethodna tri su uvjetovana određenim parametrima ili njihovim kombinacijama

| Varijable modela | np | Dev | AICc | $\Delta AICc$ | Wi |
|------------------------|----|------------|--------|---------------|-------|
| Godina | 5 | 2970793374 | 4082,2 | 0 | 0,589 |
| Stanište + Godina | 6 | 2970784372 | 4084,3 | 2,12 | 0,204 |
| Stanište + KG | 4 | 3042865305 | 4085,2 | 2,96 | 0,134 |
| Godina + KG + Stanište | 7 | 2969809347 | 4086,4 | 4,19 | 0,073 |

*KG – oznaka parametra ranog/kasnog gnijezda; np – broj parametara modela; Dev – relativna devijanica modela; AICc – *Akaike's information criterion corrected*, kriterij za odabir najboljeg modela; $\Delta AICc$ – razlika između modela i modela s najmanjom vrijednošću AICc-a; Wi – značajnost Akaike-modela

Tablica 8. Prikaz linearnih modela utjecaja četiri parametra na promjenu vrijednosti V_1 unutar kolonije, pri čemu je posljednji prikazan potpuni, tj. *full model*, a prethodna tri su uvjetovana određenim parametrima ili njihovim kombinacijama

| Varijable modela | np | Dev | AICc | $\Delta AICc$ | Wi |
|----------------------|----|-----------|--------|---------------|-------|
| Godina | 5 | 375442164 | 3645,7 | 0 | 0,663 |
| Regija + Godina | 6 | 372289963 | 3647,7 | 1,95 | 0,250 |
| KG + Godina | 8 | 375138480 | 3650,4 | 4,64 | 0,065 |
| Godina + KG + Regija | 9 | 372273420 | 3652,6 | 6,81 | 0,022 |

*KG – oznaka parametra ranog/kasnog gnijezda; np – broj parametara modela; Dev – relativna devijanica modela; AICc – *Akaike's information criterion corrected*, kriterij za odabir najboljeg modela; $\Delta AICc$ – razlika između modela i modela s najmanjom vrijednošću AICc-a; Wi – značajnost Akaike-modela

Tablica 9. Prikaz linearnih modela utjecaja četiri parametra na promjenu vrijednosti R_2 unutar kolonije, pri čemu je posljednji prikazan potpuni, tj. *full model*, a prethodna tri su uvjetovana određenim parametrima ili njihovim kombinacijama

| Varijable modela | np | Dev | AICc | Δ AICc | Wi |
|------------------------|----|----------|--------|---------------|-------|
| Stanište * KG | 5 | 1403,722 | 1008,9 | 0 | 0,702 |
| Stanište + KG | 4 | 1434,293 | 1011,4 | 2,45 | 0,206 |
| KG * Godina | 8 | 1395,661 | 1014,1 | 5,20 | 0,052 |
| Godina + KG + Stanište | 7 | 1413,540 | 1014,7 | 5,73 | 0,040 |

*KG – oznaka parametra ranog/kasnog gnijezda; np – broj parametara modela; Dev – relativna devijanica modela; AICc – *Akaike's information criterion corrected*, kriterij za odabir najboljeg modela; Δ AICc – razlika između modela i modela s najmanjom vrijednošću AICc-a; Wi – značajnost Akaike-modela

Tablica 10. Prikaz linearnih modela utjecaja četiri parametra na promjenu vrijednosti R_3 unutar kolonije, pri čemu je posljednji prikazan potpuni, tj. *full model*, a prethodna tri su uvjetovana određenim parametrima ili njihovim kombinacijama

| Varijable modela | np | Dev | AICc | Δ AICc | Wi |
|------------------------|----|----------|--------|---------------|-------|
| Stanište * KG | 5 | 4104,148 | 1235,3 | 0 | 0,745 |
| Stanište + KG | 4 | 4194,171 | 1237,8 | 2,48 | 0,216 |
| KG * Godina | 8 | 4117,892 | 1242,4 | 7,13 | 0,021 |
| Godina + KG + Stanište | 7 | 4166,734 | 1242,8 | 7,45 | 0,018 |

*KG – oznaka parametra ranog/kasnog gnijezda; np – broj parametara modela; Dev – relativna devijanica modela; AICc – *Akaike's information criterion corrected*, kriterij za odabir najboljeg modela; Δ AICc – razlika između modela i modela s najmanjom vrijednošću AICc-a; Wi – značajnost Akaike-modela

Tablica 11. Prikaz linearnih modela utjecaja tri parametra na promjenu vrijednosti R_3 za rana gnijezda, pri čemu je posljednji prikazan potpuni, tj. *full model*, a prethodna tri su uvjetovana određenim parametrima ili njihovim kombinacijama

| Varijable modela | np | Dev | AICc | Δ AICc | Wi |
|------------------|----|----------|-------|---------------|-------|
| Regija | 4 | 2486,964 | 910,4 | 0 | 0,906 |
| Godina | 5 | 2589,520 | 919,1 | 8,68 | 0,012 |
| Godina + Regija | 7 | 2461,553 | 915,3 | 4,81 | 0,082 |

*np – broj parametara modela; Dev – relativna devijanca modela; AICc – *Akaike's information criterion corrected*, kriterij za odabir najboljeg modela; Δ AICc – razlika između modela i modela s najmanjom vrijednošću AICc-a; Wi – značajnost Akaike-modela

5.2.2. Broj jaja i veličina kolonije

Prilikom kreiranja linearnih modela u analize prosječnog broja jaja uključeno je ukupno 1827 jaja iz 752 gnijezda prebrojanih u 18 kolonija različitih regija tijekom četiri godine istraživanja (2021. – 2024.).

Rezultati linearnih modela pokazuju kako do najznačajnijih razlika u prosječnom broju jaja u gnijezdu (N_a) između različitih kolonija dovodi parametar *Regija* (Tablica 12.). Štoviše, prema značajnosti Akaike-modela (Wi) (Tablica 12.) očituje se kako isključivo parametar *Regija* dovodi do značajne razlike varijable N_a između određenih kolonija. Pri tome, najveći prosječni broj jaja po gnijezdu zabilježen je za regiju Sava ($t = 3,597$, $p < 0,05$) i Sjeverni Jadran ($t = 3,517$, $p < 0,05$), dok je najmanji zabilježen za dravsku regiju (Tablica 12.).

Tablica 12. Prikaz linearnih modela utjecaja četiri parametra na promjenu vrijednosti N_a između kolonija, pri čemu je posljednji prikazan potpuni, tj. *full model*, a prethodna tri su uvjetovana određenim parametrima ili njihovim kombinacijama

| Varijable modela | np | Dev | AICc | Δ AICc | Wi |
|----------------------------|----|-----------|-------|---------------|----|
| Regija | 5 | 0,5703296 | 3,9 | 0 | 1 |
| Regija * VK | 9 | 0,4240996 | 24,1 | 20,17 | 0 |
| Regija + Godina + VK | 9 | 0,5387186 | 28,4 | 24,47 | 0 |
| Kolonija + Godina + Regija | 14 | 0,2547300 | 142,4 | 138,49 | 0 |

*VK – veličina kolonije (određena brojem gnijezda); np – broj parametara modela; Dev – relativna devijanca modela; AICc – *Akaike's information criterion corrected*, kriterij za odabir najboljeg modela; Δ AICc – razlika između modela i modela s najmanjom vrijednošću AICc-a; Wi – značajnost Akaike-modela

6. RASPRAVA

Ovim istraživanjem utvrđena je statistički značajna razlika u pet varijabli jaja izmjerenih u morskim i slatkovodnim kolonijama crvenokljune čigre na području Republike Hrvatske u vremenskom periodu od 2021. do 2024. godine. Pri tome, morske populacije bilježile su nešto manji volumen te veće redukcije jaja od onih kopnenih. Također, utvrđena je i razlika u prosječnom broju jaja po gnijezdu gdje su najveći prosječni broj jaja bilježile sjevernojadranske, a najmanji dravske populacije.

6.1. Usporedba pologa s tri jaja

Rezultatima statističkih analiza potvrđeno je kako su varijable V_{uk} i V_1 pod najvećim utjecajem parametra *Godina* (Tablice 7. i 8.). Pri tome, vrijednosti V_1 bile su najniže 2021. i 2022., dok su 2023. i 2024. bile značajno veće. Kako V_1 znatno utječe na V_{uk} , inicijalno se može zaključiti kako će vrijednost V_{uk} biti niža, odnosno viša u istim periodima kao i vrijednost V_1 , što je finalno potvrđeno i rezultatima statističke analize. Takve vrijednosti mogu biti uvjetovane širokim spektrom biotičkih, ali i abiotičkih čimbenika. Veličina jaja prvenstveno je određena količinom energije koju majka uloži u njegovu produkciju (Williams i sur. 1994; Krist 2011). Nadalje, energija uložena u gniježđenje uvelike ovisi o količini dostupne hrane, koja ovisi o zajedničkom utjecaju nekoliko čimbenika (Krist 2011; Brown i sur. 1990). Prema Erwinu i Smithu (1985) na količinu dostupne hrane te posljedično i kvalitetu gniježđenja najveći utjecaj ima kvaliteta staništa, koja je uvjetovana vrstom staništa, ali i vremenskim prilikama. Stoga, manje vrijednosti V_{uk} i V_1 u sezonama gniježđenja 2021. i 2022. ukazuju na potencijalno nepogodnije vremenske uvjete i smanjene količine hrane u tim sezonama. To potvrđuju podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda (2021) sa značajno nižim prosječnim temperaturama travnja i svibnja 2021. godine (-2,5-0,4 °C). Nasuprot tome, u 2024. koja je bilježila volumenom najveća jaja, prosječne temperature travnja i svibnja bile su znatno više (0,5-2,5 °C) od prosječnih temperatura za razdoblje 1991. do 2020. godine (Državni hidrometeorološki zavod 2024). Također, na količinu energije uložene u gniježđenje kod migratornih ptica mogu utjecati i uvjeti na zimovalištu ili tijekom selidbe (*carry-over* učinci) (Fayet i sur. 2016). *Carry-over* učinci pojavljuju se uslijed dolaska jedinke u znatno drugačiju vrstu ekosustava prilikom prelaska iz jedne faze godišnjeg ili životnog ciklusa u drugu (Moore i Martin 2019). Pri tome, znatno utječu na *fitness* i njegove posljedice na određenu fazu

životnog ciklusa (Moore i Martin 2019). Također, njihovo djelovanje nije uniformno, već ovisno o individualnim karakteristikama jedinke, pri čemu se slabije ispoljavaju u odvažnijih jedinki koje više riskiraju i ulažu u reprodukciju (Harris i sur. 2020). Stoga, manje vrijednosti varijabli V_{uk} i V_1 tijekom 2021. i 2022. (Tablice 7. i 8.) mogu se protumačiti i kao odraz pojačanog djelovanja *carry-over* učinaka, tj. smanjenog *fitness*-a jedinki uslijed lošijih uvjeta na zimovalištima ili tijekom selidbe.

S druge strane, na varijable R_2 i R_3 najviše utječe međuovisnost parametara *Stanište* i *Kasno gnijezdo* (Tablice 9. i 10.). Vrijednosti obiju redukcija (R_2 i R_3) najveće su u morskim populacijama, osobito u kasnim položima (polozi položeni tijekom lipnja). Stoga, može se zaključiti kako su i vrijednosti V_2 i V_3 nešto manje u morskim populacijama nego u slatkovodnim. Za crvenokljune čigre karakteristična je redukcija volumena jaja ovisno o vremenu njegova polaganja (Bollinger 1994). Pri tome ptići će se izlijevati asinhrono, a mogućnost njihova preživljavanja smanjivat će se ovisno o vremenu izlijevanja (Bollinger 1994). Tu hipotezu potvrđuje rad Bollinger i sur. (1990) koji govori kako u položima s isključivo tri jaja ptići koji se izliježu zadnji imaju najmanju mogućnost preživljavanja. Kako je količina dostupne hrane glavni ograničavajući faktor veličine jaja (Krist 2011), a najistaknutija razlika između kopnenih i morskih staništa jest upravo u količini dostupne hrane (Becker i sur. 1997), za pretpostaviti je kako će morske populacije imati veću redukciju drugog i trećeg jaja nego kopnene. Nadalje, prema radovima Moorea i Morrisa (2005) i Arnold i sur. (2006) u ranijim položima zabilježena su jaja većeg volumena koji direktno utječe na povećanje postotka preživljavanja izlegnutih ptića. Polozi iz lipnja vrlo su vjerojatno zamjenski položaji čigri koje su izgubile prvo leglo, pa su samim time ptice već utrošile dio energije potrebne za polaganje jaja i inkubaciju. Prethodno navedene hipoteze potvrđene su i ovim istraživanjem gdje su najveće redukcije jaja zabilježene u kasnim položima morskih populacija crvenokljunih čigri. To dodatno potvrđuju rezultati statističkih analiza samo ranih pologa s tri jaja. U tim položajima na varijablu R_3 značajno utječe parametar *Regija* (Tablica 11.), pri čemu su najmanji postotci redukcije trećeg jaja zabilježene u regiji Sava. Takve vrijednosti varijable R_3 podrazumijevaju veće vrijednosti varijable V_3 za kolonije savske regije u usporedbi sa srednjojadranskima što detaljnije opisuje karakteristike srednjojadranskih kolonija i njihovih staništa. Također, morske kolonije crvenokljune čigre Republike Hrvatske su znatno manje od onih kopnenih (Kralj i sur. 2013; Kralj i sur. 2019), što se može protumačiti kao mehanizam smanjivanja intraspecijske kompeticije i kleptoparazitizma koji su česte pojave u staništima s ograničenom

količinom hrane. Prema Arnold i sur. (2004) kleptoparazitizam najčešće se pojavljuje tijekom formiranja kasnih pologa te dovodi do manjeg ulaganja energije u te pologe. Stoga, kako su rezultati ovog istraživanja pokazali veću vrijednost redukcije jaja u kasnim polozima, postavlja se pitanje koliko je izražen utjecaj kleptoparazitizma među jedinkama morskih kolonija Hrvatske u odnosu na jedinke kopnenih. S druge strane, u slučajevima manje količine dostupne hrane, na veličinu jaja i preživljavanje ptica može utjecati i roditeljska sposobnost (Arnold i sur. 2004). Pri tome iskusniji roditelji mogu kompenzirati sve nepogodnosti kasnog gniježđenja i ostvariti sličan uspjeh kao za ranog gniježđenja (Arnold i sur. 2004). Na morskim kolonijama crvenokljune čigre na području Republike Hrvatske zabilježeno je kako jedinke provode čak 40 % manje vremena inkubirajući u usporedbi sa pticama sa slatkovodnih kolonija (Vodopija 2024). Do manjka vremena uloženog u inkubaciju dolazi zbog viška vremena utrošenog na traženje hrane, tj. prevaljivanja većih udaljenosti u potrazi za pogodnim hranilištima (Kralj i sur. 2024). Uzevši u obzir prethodne hipoteze i rezultate ovog istraživanja, postavlja se pitanje može li u ovom slučaju roditeljska sposobnost i iskustvo nadjačati utjecaj količine hrane. Inicijalnu pretpostavka može se povezati s prethodno navedenim rezultatima ovisnosti varijabli V_{uk} i V_1 o parametru *Godina* (Tablice 7. i 8.) iz kojih je vidljivo kako je volumen jaja nešto manji u periodu 2021. – 2022. nego u periodu 2023. – 2024, dok potencijalni odgovor mogu dati daljnja detaljnija istraživanja.

6.2. Usporedba prosječnog broja jaja po gnijezdu

Iz rezultata statističkih istraživanja utjecaja određenih parametara na varijablu prosječni broj jaja po gnijezdu (N_a) vidljivo je kako najveći utjecaj, tj. statistički najznačajniju razliku ostvaruje parametar *Regija* (Tablica 12.). Pri tome, najveći prosječni broj jaja po gnijezdu zabilježen je u sjevernojadranskim i savskim kolonijama, dok je najmanji zabilježen među koloniji na Šoderici (regija Drava). Veličina kolonije nije imala značajni utjecaj na veličinu pologa, što je prethodno zabilježeno i u radu Erwina i Smitha (1985). Kako je značajna razlika u veličini pologa zabilježena između različitih staništa, a prema Beckeru i sur. (1997) glavna razlika između morskih i slatkovodnih staništa jest u količini dostupne hrane, za zaključiti je da je i u ovom slučaju količina dostupne hrane ograničavajući čimbenik. Potencijalna poveznica s prethodnom tezom jest istraživanje veličine pologa male čigre *Sternula albifrons* (Pallas, 1764) Honga i sur. (1998) na području Republike Koreje, gdje se kao ograničavajući čimbenici veličine pologa označuju upravo kvaliteta staništa i količina dostupne hrane. Pri tome će slatkovodne populacije, zbog veće dostupnosti hrane, imati nešto veće pologe od morskih. U ovom istraživanju to je vidljivo i iz srednjih vrijednosti veličine pologa morskih ($2,40 \pm 0,25$) i slatkovodnih populacija ($2,44 \pm 0,32$). Razlika bi bila još značajnija izuzevši iz ukupne vrijednosti veličinu pologa slatkovodnih populacija tijekom 2023. (Tablica 6.), kada je na koloniji na Šoderici zabilježeno ugibanje odraslih gnijezdećih čigri i predacija gnijezda. Pretpostavka je da se radi o stradanju zbog ptičje gripe, ali to nije potvrđeno.

U istraživanjima kolonija troprstog galeba (*Rissa tridactyla* Linnaeus, 1758) Coulson i Porter (1985) navode vrijeme gniježđenja kao važan čimbenik veličine pologa. Pri tome, rana gnijezda imala su nešto veće pologe nego kasni. Takva hipoteza u ovom istraživanju nije potvrđena, ali uzevši u obzir prethodno definirane veće vrijednosti R_2 i R_3 kasnih gnijezda te strategije redukcije pologa (Slagsvold i sur. 1984), za pretpostaviti je i utjecaj vremena polaganja jaja na veličinu pologa.

Klimatske promjene imaju ozbiljan utjecaj na sve vrste koje su definirane kao *central-place foragers* (Durant i sur. 2007). One najčešće dovode do povećanja udaljenosti dostupnih izvora plijena čime posljedično ograničavaju njegovu dostupnost (Durant i sur. 2007). Kako je količina dostupne hrane jedan od najvažnijih čimbenika u gniježđenju crvenokljune čigre (Becker i sur. 1997), njezino smanjenje, kao i smanjenje kvalitete staništa može značajno utjecati na uspješnost

gniježđenja (Palestis 2014). Prema Palestisu (2014) očuvanje postojećih i obnova nekadašnjih staništa pogodnih za gniježđenje crvenokljune čigre osnovni su korak njezine konzervacije.

7. ZAKLJUČAK

U sklopu ovog istraživanja statistički je analizirano ukupno 1827 jaja iz 752 pologa, pri čemu ih je 211 bilo s isključivo tri jaja. Jaja su izmjerena na četiri slatkovodne i šest morskih lokacija u vremenskom periodu 2021. – 2024.

U statističkoj analizi pologa s isključivo tri jaja promatran je utjecaj četiriju nezavisnih faktora (*Godina (2021-2024)*, *Stanište (K/M)*, *Regija (S/D/P/J)* i *Kasno gnijezdo (KG₀/KG₁)*) na prethodno izmjerene vrijednosti jaja. Njome je potvrđena značajna razlika ukupnog volumena (V_{uk}) te volumena svih prvih/najvećih jaja (V_1) ovisno o godini prikupljanja podataka, pri čemu su tijekom 2021. i 2022. zabilježene manje vrijednosti nego tijekom 2023. i 2024. Kao glavni uzroci ove razlike identificirani su nepovoljniji vremenski uvjeti i pojačani *carry-over* učinak tijekom prvih dviju godina istraživanja. Nadalje, u položima s tri jaja zabilježena je i značajna razlika u redukciji drugog/srednjeg (R_2) i trećeg/najmanjeg jaja (R_3) ovisno o međudjelovanju parametara *Godina* i *Kasno gnijezdo*. Pri tome, najveće su redukcije zabilježene u kasnim gnijezdima morskih kolonija. Takvi rezultati su potvrđeni i literaturnim podacima o ovisnosti veličine i postotku redukcije jaja o kvaliteti staništa i količine dostupne hrane. Kako se jedinke morskih kolonija gnijezde na manje kvalitetnom staništu s manje dostupnim izvorima hrane, ulagat će više vremena i energije u njeno traženje i manje će vremena provoditi u inkubaciji, što će posljedično dovesti i do manjih jaja s većim postotkom redukcije. Takav ishod dodatno je potvrdila analiza varijable R_3 ranih pologa, pri čemu su njene najveće vrijednosti zabilježene među malim kolonijama Srednjeg Jadrana.

U statističkoj analizi veličine pologa, tj. prosječnog broja jaja po pologu, značajna je razlika zabilježena za parametar *Regija*, pri čemu je najveća vrijednost zabilježena za sjevernojadransku regiju, a najmanja za dravsku (uzrok je ugibanje odraslih gnijezdećih čigri i predacija gnijezda tijekom 2023.). Uzevši u cjelokupno stanište tijekom četiri godine istraživanja, u tri od četiri godine prosječno veći položaji zabilježeni su u slatkovodnim kolonijama. Kao glavni uzrok ponovno je izdvojena kvaliteta staništa, gdje slatkovodne populacije crvenokljune čigre imaju veću količinu dostupnog plijena, mogo više energije uložiti u gniježđenje što rezultira većim položajima.

Za bolje razumijevanje pritisaka i negativnih utjecaja, te posljedično i konzervaciju crvenokljune čigre na području Republike Hrvatske, potrebno je provesti daljnja etološka istraživanja i definirati dodatne razlike gniježđenja i hranjenja na ovim staništima.

8. LITERATURA

Arnold, J. M., Hatch, J. J. i Nisbet, I. C. (2004). Seasonal declines in reproductive success of the common tern *Sterna hirundo*: timing or parental quality?. *Journal of Avian Biology*, 35(1), 33-45.

Arnold, J. M., Hatch, J. J. i Nisbet, I. C. (2006). Effects of egg size, parental quality and hatch-date on growth and survival of Common Tern *Sterna hirundo* chicks. *Ibis*, 148(1), 98-105.

Arnold, J. M., Oswald, S. A., Nisbet, I. C. T., Pyle, P. i Patten, M. A. (2020). Common Tern (*Sterna hirundo*), version 1.0. In *Birds of the World* (S. M. Billerman, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. (<https://doi.org/10.2173/bow.comter.01>, pristupljeno: 10. 10. 2024.)

Barbour, D. L., Morris, R. D. i Moore, D. J. (2000). Egg and chick fates of Common Terns in areas of high and low nest density. *Journal of Field Ornithology*, 71(1), 34-45.

Bartoń, K. (2024). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.48.4. (<https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>, pristupljeno: 2. 10. 2024.)

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. i Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using (lme4). *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. (<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>)

Becker, P. i Ludwigs, J. D. (2004). *Sterna hirundo* Common Tern. BWP Update – The Journal of the birds of the Western Palearctic, 6, 91-137.

Becker, P. H. i Sudmann, S. R. (1998). Quo vadis *Sterna hirundo*? Implications for the conservation of Common Tern in Germany. *Vogelwelt-Berlin*, 119, 293-304.

Becker, P. H., Frank, D. i Sudmann, S. R. (1993). Temporal and spatial pattern of common tern (*Sterna hirundo*) foraging in the Wadden Sea. *Oecologia*, 93(3), 389-393.

Becker PH, Frank D. i Wagener M (1997). Luxury in freshwater and stress at sea? The foraging of the Common Tern *Sterna hirundo*. *Ibis*, 139, 264-269.

Bollinger, P. B. (1994). Relative effects of hatching order, egg-size variation, and parental quality on chick survival in common terns. *The Auk*, 111(2), 263-273.

- Bollinger, P. B., Bollinger, E. K. i Malecki, R. A. (1990). Tests of three hypotheses of hatching asynchrony in the Common Tern. *The Auk*, 107(4), 696-706.
- Brown, C. R., Stutchbury, B. J. i Walsh, P. D. (1990). Choice of colony size in birds. *Trends in Ecology & Evolution*, 5(12), 398-403.
- Burger, J. i Gochfeld, M. (1991). *The Common Tern*. Columbia University Press. New York.
- Cabot, D. i Nisbet, I. (2013). *Terns*. Vol. 123, New Naturalist Library. London: HarperCollins.
- Chang, B., Croson, M., Straker, L., Gart, S., Dove, C., Gerwin, J. i Jung, S. (2016). How seabirds plunge-dive without injuries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(43), 12006-12011.
- Clapp, R. B., Laybourne, R. C., & Pyle, R. L. (1983). Status of the Common Tern (*Sterna hirundo*) in the tropical Pacific, with a note on records of the Black-naped Tern (*Sterna sumatrana*) in Hawaii. *Elepaio*, 43, 97-99.
- Coccon, F., Borella, S., Simeoni, N. i Malavasi, S. (2018). Floating rafts as breeding habitats for the Common tern *Sterna hirundo*. Colonization patterns abundance and reproductive success in Venice Lagoon. *Rivista Italiana di Ornitologia* 88(1):23–32. <https://doi.org/10.4081/rio.2018.349>
- Coulson, J. C. i Porter, J. M. (1985). Reproductive success of the kittiwake *Rissa tridactyla*: the roles of clutch size, chick growth rates and parental quality. *Ibis*, 127(4), 450-466.
- Craik, J. C. A. (1998). Biometric differences between Common Terns *Sterna hirundo* and Arctic Terns *S. paradisaea*. *Ringing & Migration*, 19(1), 75-78.
- Craik, J. C. A. (1999). Sexual dimorphism of common terns *Sterna hirundo* and Arctic terns *S. paradisaea*. *Journal of Avian Biology*, 30(1), 45-50.
- Cramp, S. i Simmons, K. E. L. (2006). *Birds of the Western Palearctic interactive version 2.0*. 1. (DVD-ROM). Sheffield: BirdGuides Ltd; 2006.
- DiCostanzo, J. (1980). Population dynamics of a Common Tern colony. *Journal of Field Ornithology*, 51(3), 229-243.
- Državni hidrometeorološki zavod (2021). Ocjena mjeseca, sezone, godine. Odstupanje srednje mjesečne temperature zraka za 2021.

(https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje¶m=ocjena&el=msg_ocjena&MjesecSezona=Godina=2021, pristupljeno: 30. 10. 2024.)

Državni hidrometeorološki zavod (2024). Ocjena mjeseca, sezone, godine. Odstupanje srednje mjesečne temperature zraka za 2024.

(https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje¶m=ocjena&el=msg_ocjena&MjesecSezona=Godina=2024, pristupljeno: 30. 10. 2024.)

Duffy, D. C. (1986). Foraging at patches: interactions between Common and Roseate Terns. *Ornis Scandinavica* 17, 47-52.

Durant, J. M., Hjernann, D. Ø., Ottersen, G. i Stenseth, N. C. (2007). Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability. *Climate research*, 33(3), 271-283.

Erwin, R. M. (1977). Foraging and breeding adaptations to different food regimes in three seabirds: the Common Tern, *Sterna hirundo*, Royal Tern, *Sterna maxima*, and Black Skimmer, *Rynchops niger*. *Ecology*, 58(2), 389-397.

Erwin, R. M. i Smith, D. C. (1985). Habitat comparisons and productivity in nesting Common Terns on the Mid-Atlantic Coast. *Colonial Waterbirds* 8, 155-165.

Fasola, M. i Canova, L. (1992). Nest habitat selection by eight syntopic species of Mediterranean gulls and terns. *Colonial Waterbirds* 15(2), 169-178.

Fayet, A. L., Freeman, R., Shoji, A., Kirk, H. L., Padget, O., Perrins, C. M. i Guilford, T. (2016). Carry-over effects on the annual cycle of a migratory seabird: an experimental study. *Journal of Animal Ecology*, 85(6), 1516-1527.

Fijn, R. C., Courtens, W., Engels, B. W., van Loon, E. E., & Shamoun-Baranes, J. (2024). Combining video and GPS-tracking to study the spatial foraging distribution of a single-prey loading seabird. *Avian Research*, 15, Article 100196.

González-Solís, J., Sokolov, E. i Becker, P. H. (2001). Courtship feedings, copulations and paternity in common terns, *Sterna hirundo*. *Animal Behaviour*, 61(6), 1125-1132.

- Goyert, H. F. (2015). Foraging specificity and prey utilization: evaluating social and memory-based strategies in seabirds. *Behaviour*, 152(7-8), 861-895.
- Hamer, K. C., Schreiber, E. A. i Burger, J. (2001). Breeding biology, life histories, and life history-environment interactions in seabirds. *Biology of marine birds*, 45, 217-261.
- Harris, S. M., Descamps, S., Sneddon, L. U., Cairo, M., Bertrand, P. i Patrick, S. C. (2020). Personality-specific carry-over effects on breeding. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1940), 20202381.
- Hays, H. i LeCroy, M. (1971). Field criteria for determining incubation stage in eggs of the Common Tern. *The Wilson Bulletin*, 83(4), 425-429.
- Hays, H., Dunn, E. i Poole, A. (1973). Common, Arctic, roseate, and Sandwich terns carrying multiple fish. *The Wilson Bulletin*, 85(2), 233-236.
- Holm, K. J. i Burger, A. E. (2002). Foraging behavior and resource partitioning by diving birds during winter in areas of strong tidal currents. *Waterbirds*, 25(3), 312-325.
- Hong, S. B., Woo, Y. T. i Higashi, S. (1998). Effects of clutch size and egg-laying order on the breeding success in the Little Tern *Sterna albifrons* on the Nakdong Estuary, Republic of Korea. *Ibis*, 140(3), 408-414.
- Hoyt, D. F. (1979). Practical methods of estimating volume and fresh weight of bird eggs. *Auk* 96, 73-77.
- Hulsman, K. i Tularam, G. A. (2021). Fishy tales: Behaviour of schooling fish escaping from terns. *Marine Ornithology*, 49, 159-166.
- Khemis, M. D. E. H., Boutabia, L., Farhi, K., Elafri, A., Kahli, A. i Telailia, S. (2021). Some Population Aspects of Common Tern Breeding in Algeria at a Small Mediterranean Island (East Coast of Algeria). *Ekológia (Bratislava)*, 40(1), 62-69.
- Kopachena, J. G. (1991). Food dispersion, predation, and the relative advantage of colonial nesting. *Colonial Waterbirds* 14, 7-12.
- Kralj, J., Barišić, S., Tutiš, V. i Čiković, D. (eds.) (2013). Atlas selidbe ptica Hrvatske. HAZU.

- Kralj, J., Martinović, M., Rubinić, T., Krnjeta, D. i Jurinović, L. (2019). Dynamics of Common and Little Tern populations along the Sava River in North-western Croatia between 2002 and 2019. *Acrocephalus*, 40(180-181), 49-54.
- Kralj, J., Martinović, M., Jurinović, L., Szinai, P., Sütő, S. i Preiszner, B. (2020). Geolocator study reveals east African migration route of Central European Common Terns. *Avian research*, 11, 1-11.
- Kralj, J., Pavlinec, Ž., Jurinović, L., Barišić, S., Martinović, M., Meštrović, L., Bjelić Laušić, M., Čiković, D., Tutiš, V., Lončar, V. i Galov, A. (2024). River and sea: foraging range of freshwater and marine Common Terns. *Journal of Ornithology*, 1-10.
- Krist, M. (2011). Egg size and offspring quality: a meta-analysis in birds. *Biological reviews*, 86(3), 692-716.
- Labbé, A. M., Dunlop, J. N. i Loneragan, N. R. (2013). Central place foraging and feather regrowth rate in bridled terns (*Onychoprion anaethetus*): an insight from stable isotopes. *Marine and Freshwater Research*, 64(12), 1184-1191.
- Langham, N. P. E. (1972). Chick survival in terns (*Sterna* spp.) with particular reference to the Common Tern. *The Journal of Animal Ecology*, 385-395.
- Larsson, H. i Olsen, K. M. (2010). *Terns of Europe and North America*. A&C Black.
- Marchetti, K. i Price, T. (1989). Differences in the foraging of juvenile and adult birds: the importance of developmental constraints. *Biological Reviews*, 64(1), 51-70.
- Martinović, M. (2024). Područje kretanja i odabir staništa crvenokljune čigre (*Sterna hirundo* Linnaeus, 1758) tijekom sezone gniježđenja u okolici Zagreba (Doktorski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet. (preuzeto 3. 10. 2024. s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:490716>)
- Martinović, M., Galov, A., Svetličić, I., Tome, D., Jurinović L., Ječmenica, B., Basle, T., Božič, L., Kralj, J. (2019): Prospecting of breeding adult Common terns in an unstable environment, *Ethology Ecology & Evolution*, 31: 457–468.

- Martinović, M., Plantak, M., Jurinović, L. i Kralj, J. (2023). Importance of shallow river topography for inland breeding Common Terns. *Journal of Ornithology*, 164(3), 705-716.
- Mauco, L. i Favero, M. (2005). The food and feeding biology of common terns wintering in Argentina: influence of environmental conditions. *Waterbirds*, 450-457.
- McLeay, L. J., Page, B., Goldsworthy, S. D., Paton, D. C., Teixeira, C., Burch, P. i Ward, T. (2010). Foraging behaviour and habitat use of a short-ranging seabird, the crested tern. *Marine Ecology Progress Series*, 411, 271-283.
- Mejías, M. A. (2017). Recovery plan for the Common Tern, *Sterna hirundo*, on Bermuda. Government of Bermuda, Ministry of Home Affairs, Department of Environment and Natural Resources.
- Microsoft Corporation. (2021). Microsoft Excel (Version 16.0) [Computer software]. Microsoft. <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel>
- Microsoft Corporation (2023). Microsoft Paint (Version 22H2) [Computer software]. <https://www.microsoft.com/en-us/windows/paint>
- Militão, T., Kürten, N. i Bouwhuis, S. (2023). Sex-specific foraging behaviour in a long-lived seabird. *Marine Biology*, 170(11), 132.
- Monticelli, D., Ramos, J. A. i Pereira, J. (2006). Habitat use and foraging success of roseate and common terns feeding in flocks in the Azores. *Ardeola*, 53 (2), 293-306.
- Moore, D. J., Williams, T. D. i Morris, R. D. (2000). Mate provisioning, nutritional requirements for egg production, and primary reproductive effort of female Common Terns *Sterna hirundo*. *Journal of Avian Biology*, 31, 183-196.
- Moore, D. J. i Morris, R. D. (2005). The production of second clutches in the Common Tern: proximate effects of timing and food supply. *Waterbirds*, 28(4), 458-467.
- Moore, M. P. i Martin, R. A. (2019). On the evolution of carry-over effects. *Journal of Animal Ecology*, 88(12), 1832-1844.
- Müller, C. (2018). Common Tern *Sterna hirundo*. U: Knaus, P., Antoniazza, S., Wechsler, S., Guélat, J., Kéry, M., Strebel, N. i Sattler, T. (Eds) *Swiss Breeding Bird Atlas 2013–2016*.

Distribution and population trends of birds in Switzerland and Liechtenstein. Swiss Ornithological Institute, Sempach. pp 648. ISBN: 978-3-85949-013-0

Nisbet, I. C. T. (2002). Common Tern (*Sterna hirundo*). U: A. Poole & F. Gill (Eds.), The Birds of North America (No. 618). Philadelphia: The Birds of North America, Inc.

Nisbet, I. C., Winchell, J. M. i Heise, A. E. (1984). Influence of age on the breeding biology of Common Terns. Colonial Waterbirds 7, 117-126.

Palestis, B. G. (2014). The role of behavior in tern conservation. Current Zoology, 60(4), 500-514.

Piro, S. i Schmitz Ornés, A. (2022). Revealing different migration strategies in a Baltic Common Tern (*Sterna hirundo*) population with light-level geolocators. Journal of Ornithology. 163. 1-13. 10.1007/s10336-022-01986-1.

Pyke, G. H. (1984). Optimal foraging theory: a critical review. Annual review of ecology and systematics, 15, 523-575.

QGIS Development Team (2023). QGIS Geographic Information System. version 3.34.1 -Prizren. Open Source Geospatial Foundation Project 2023. <http://www.qgis.org>

Raab, S. (1998). Verlust der Brutgebiete der Flußseeschwalbe *Sterna hirundo* an den Flüssen des bayerischen Voralpenlandes und Möglichkeiten der Wiederansiedlung. Vogelwelt, 119(3), 4.

Radović, D., Kralj, J., Tutiš, V. i Ćiković, D. (2003). Crvena knjiga ugroženih ptica Hrvatske. Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Državni zavod za zaštitu prirode, Croatia.

R Core Team (2023): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Safina, C. i Burger, J. (1988). Prey Dynamics and the Breeding Phenology of Common Terns (*Sterna hirundo*). The Auk, 105(4), 720–726

Schwemmer, P., Adler, S., Guse, N., Markones, N. i Garthe, S. (2009). Influence of water flow velocity, water depth and colony distance on distribution and foraging patterns of terns in the Wadden Sea. Fisheries Oceanography, 18(3), 161-172.

Slagsvold, T., Sandvik, J., Rofstad, G., Lorentsen, Ö. i Husby, M. (1984). On the adaptive value of intraclutch egg-size variation in birds. *The Auk*, 101(4), 685-697.

Stienen, E. W., van Beers, P. W., Brenninkmeijer, A., Habraken, J. M., Raaijmakers, M. H. i van Tienen, P. G. (2000). Reflections of a specialist: patterns in food provisioning and foraging conditions in Sandwich Terns *Sterna sandvicensis*. *Ardea*, 88(1), 33-49.

Svensson, L., Grant, P. J., Mullarney, K. i Zetterström, D. (2009). *Collins bird guide*. HarperCollins.

Szostek, K. L., Becker, P. H., Meyer, B. C., Sudmann, S. R. i Zintl, H. (2014). Colony size and not nest density drives reproductive output in the Common Tern *Sterna hirundo*. *Ibis*, 156(1), 48-59.

Tome, D., Martinović, M., Kralj, J., Božič, L., Basle, T. i Jurinović, L. (2019). Area use and important areas for Common Tern inland populations breeding in Slovenia and Croatia. *Acrocephalus*, 40(180-181), 55-67.

Urmy, S. S. i Warren, J. D. (2018). Foraging hotspots of common and roseate terns: the influence of tidal currents, bathymetry, and prey density. *Marine Ecology Progress Series*, 590, 227-245.

Vodopija, M. (2024). Usporedba aktivnosti crvenokljune čigre (*Sterna hirundo*) tijekom gniježđenja na slatkovodnim i morskim staništima (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.

White, S. J. i Kehoe, C. V. (2001). Difficulties in determining the age of Common Terns in the field. *British Birds*, 94(6), 268-277.

Whittow, G. C., Schreiber, E. A. i Burger, J. (2002). Seabird reproductive physiology and energetics. *Biology of marine birds*. CRC Press, Boca Raton, FL, 409-427.

Wiggins, D. A., Morris, R. D., Nisbet, I. C. T. i Custer, T. W. (1984). Occurrence and timing of second clutches in Common Terns. *The Auk*, 101(2), 281-287.

Williams, T. D. (1994). Intraspecific variation in egg size and egg composition in birds: effects on offspring fitness. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 69(1), 35-59.

Zamon, J. E. (2003). Mixed species aggregations feeding upon herring and sandlance schools in a nearshore archipelago depend on flooding tidal currents. *Marine Ecology Progress Series*, 261, 243-255.

ŽIVOTOPIS

Toni Kočevar rođen je u Zagrebu, 26. srpnja 2000. Osnovnoškolsko i srednjoškolsko obrazovanje stekao je u gradu Karlovcu. Tijekom akademske godine 2019./2020. upisuje preddiplomski studij Biologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom preddiplomskog studija postaje aktivni član Udruge studenata biologije – BIUS (2021.) te sudjeluje kao volonter na 10. ECCB Konferenciji Europskog komiteta za očuvanje mahovina (2022.), 7. Hrvatskom botaničkom Simpoziju (2022.) te studentskoj konferenciji *Brain Gut Axis* (2022.). Početkom akademske godine 2022./2023. izrađuje završni rad na temu „Ptice grabljivice kao vršni predatori“ pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Zorana Marčića pri Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu i stječe titulu stručnog prvostupnika biologije (*univ. bacc. biol.*). Iste akademske godine upisuje diplomski studij Eksperimentalne biologije, modul Zoologija i postaje voditelj Sekcije za šišmiše Udruge studenata biologije – BIUS. Tijekom drugog semestra diplomskog studija obavlja stručnu praksu pri Zavodu za ornitologiju Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti te posao studentskog pripravnika Javne Ustanove Zagrebačke županije Zeleni prsten, fokusirajući se na prikupljanje i formatiranje ornitoloških opažanja tijekom 20.-og i 21.-og stoljeća. Također, tijekom 2023. polazi stručna predavanja i radionice determinacije, istraživanja i očuvanja šišmiša održanih od strane tvrtki Supernatural Ltd., Oikon d.o.o. i Geonatura d.o.o. Kao studentski pripravnik sudjeluje u terenskim istraživanjima i obradi podataka projekata tvrtki Supernatural Ltd. i Oikon d.o.o. namijenjenim za očuvanje šišmiša na području Republike Hrvatske (2023. i 2024.). U prosincu 2023. postaje član Upravnog odbora Udruge studenata biologije – BIUS. Također, za vrijeme diplomskog studija sudjeluje u nekoliko projekata Udruge studenata biologije – BIUS, od kojih su najznačajniji: istraživačko-edukacijski projekt *Zagorje zelene 2023* kao voditelj Sekcije za šišmiše, Simpozij studenata bioloških usmjerenja 2023. kao volonter, istraživačko-edukacijski projekt *Podzemlje Učke i Čićarije 2023* kao član Sekcije za biospeleologiju, istraživačko-edukacijski projekt *Karin 2024* kao voditelj Sekcije za šišmiše, Simpozij studenata bioloških usmjerenja 2024. kao član Upravnog odbora Udruge BIUS, istraživačko-edukacijski projekt *Podzemlje Učke i Čićarije 2024* kao član Sekcije za biospeleologiju. U četvrtom semestru, kao voditelj Sekcije za šišmiše, pokreće istraživačko-edukacijski studentski projekt *Noćni letači Tounja 2024* namijenjen istraživanju populacija šišmiša na području općine Tounj u Karlovačkoj županiji, te edukaciji šire javnosti o ugroženosti hiropterofaune. Tijekom 2024. sudjeluje u istraživanjima riječnih tokova Karlovačke

županije tvrtke Biota d.o.o. Akademske godine 2023./2024., pod mentorstvom nasl. izv. prof. dr. sc. Jelene Kralj, započinje izradu diplomskog rada na temu „Veličina pologa i jaja crvenokljune čigre *Sterna hirundo* u morskim i slatkovodnim kolonijama u Hrvatskoj“.