

VII. ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP / VII. SCIENTIFIC AND EXPERT CONFERENCE

S međunarodnim sudjelovanjem / with international participation

Klimatske promjene i očuvanje morskih ekosustava
Jadranskog mora

*Climate Change and Preservation of Marine Ecosystems of the
Adriatic Sea*



Climate change and preservation
of marine ecosystems in the
Adriatic Sea

KNJIGA SAŽETAKA / BOOK OF ABSTRACTS

Brijuni, Hrvatska
01. do 04. listopada 2026

Brijuni, Croatia
01. to 04. October, 2026



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |



KNJIGA SAŽETAKA

VII. ZNANSTVENO-STRUČNOG SKUPA

Klimatske promjene i očuvanje morskih ekosustava Jadranskog mora s međunarodnim sudjelovanjem

BOOK OF ABSTRACTS

7th SCIENTIFIC-EXPERT CONFERENCE

Climate Change and Preservation of Marine Ecosystems of Adriatic Sea with international participation

Urednici / Editors

Slavica Čolak, Tomislav Šarić, Rina Milošević

Nakladnik / Publisher

Sveučilište u Zadru
University of Zadar

Brijuni, 2026.

ISBN: 978-953-331-652-9

(Knjiga sažetaka VII. znanstveno-stručnog skupa Klimatske promjene i očuvanje morskih ekosustava Jadranskog mora s međunarodnim sudjelovanjem, Brijuni, 2026.)



Djelo je objavljeno pod Creative Commons Autorstvo 4.0 međunarodnom licencom (CC BY), koja korisnicima omogućuje čitanje, preuzimanje, kopiranje, dijeljenje, ispis, pretraživanje i povezivanje na sadržaj, kao i njegovo mijenjanje, prilagodbu i daljnju obradu te korištenje u druge zakonite svrhe, uz uvjet da se izvor propisno navede u skladu s CC BY licencom. / *The work is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY), which allows users to read, download, copy, share, print, search, and link to the material, as well as to modify, adapt, and build upon it, or use it for other lawful purposes, provided that the original source is properly credited in accordance with the CC BY license.*

VII. ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP / 7th SCIENTIFIC-EXPERT CONFERENCE

Klimatske promjene i očuvanje morskih ekosustava Jadranskog mora s međunarodnim sudjelovanjem

Climate Change and Preservation of Marine Ecosystems of Adriatic Sea with international participation

Brijuni, od 01. do 04. listopada 2026.

Brijuni, 1st to 4th October, 2026

KNJIGA SAŽETAKA

BOOK OF ABSTRACTS

Urednici / Editors

Slavica Čolak, Tomislav Šarić, Rina Milošević

Brijuni, 2026.

VII. ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP

Klimatske promjene i očuvanje morskih ekosustava Jadranskog mora se održava pod pokroviteljstvom predsjednika Republike Hrvatske te Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije Republike Hrvatske

7th SCIENTIFIC AND EXPERT CONFERENCE

Climate Change and Preservation of Marine Ecosystems of Adriatic Sea is held with support of the president of the Republic of Croatia and the Ministry of Environmental Protection and Green Transition, Republic of Croatia

ORGANIZATORI/ORGANIZATORS

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu Sveučilišta u Zadru / *Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture University of Zadar*
Udruga morski obrazovni centar Pula / *Marine Education Centre Pula Aquarium Pula*
Institut Ruđer Bošković / *Ruđer Bošković Institute*

SUORGANIZATORI / COORGANIZERS

Znanstveno vijeće za prirodnostna istraživanja Jadrana HAZU / *Scientific Council for Adriatic Natural Science Research, Croatian Academy of Science and Arts*
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci / *Faculty of Civil Engineering, University of Rijeka*
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu / *Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb*
Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu / *Faculty of Architecture, University of Zagreb*
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci / *Faculty of Engineering, University of Rijeka*
Institut za more i priobalje Sveučilišta u Dubrovniku / *Institute for Marine and Coastal Research, University of Dubrovnik*
Hrvatski veterinarski institut Zagreb / *Croatian Veterinary Institute Zagreb*
Fakultet prirodnih znanosti Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli / *Faculty of Natural Sciences, Juraj Dobrila University of Pula*
Sveučilište obrane i sigurnosti „Dr. Franjo Tuđman“ / *University of Defense and Security „Dr. Franjo Tuđman“*
Geološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu / *Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb*
Javna ustanova Natura Histrica / *Public Institution Natura Histrica*

PARTNER SKUPU / CONFERENCE PARTNER

Nacionalni park Brijuni / *National Park Brijuni*

ORGANIZACIJSKI ODBOR / ORGANIZING COMMITTEE

Dr.sc. Milena Mičić, Aquarium Pula

Ela Pahor, Aquarium Pula

Tamara Sović Čalić, Aquarium Pula

Rina Milošević, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu Sveučilišta u Zadru / *Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture / Centar za geoprostorne tehnologije Sveučilišta u Zadru / Center for geospatial technologies University of Zadar*

ZNANSTVENI ODBOR / SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. dr. sc. Tatjana Bakran-Petricioli, Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu / *Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb*

Dr. sc. Mirna Batistić, Institut za more i priobalje Sveučilišta u Dubrovniku / *Institute for Marine and Coastal Research, University of Dubrovnik*

Dr. sc. Nina Bilandžić, Hrvatski veterinarski institut, Zagreb / *Croatian Veterinary Institute, Zagreb*

Dr. sc. Nikola Biliškov, Institut Ruđer Bošković, Zagreb; McGill University, Montréal, Kanada / *Ruđer Bošković Institute, Zagreb; McGill University, Montréal, Canada*

Prof. dr. sc. Dalibor Carević, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu / *Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb*

Dr. sc. Irena Ciglenečki Jušić, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, predsjednica / *Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, president*

Doc. dr. sc. Slavica Čolak, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu Sveučilišta u Zadru / *Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture, University of Zadar*

Prof. dr. sc. Matej Dolenec, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia / *Department of Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia*

Prof. dr. sc. Dario Đerđa, Katedra za upravno pravo, Pravni fakultet Sveučilišta u Rijeci / *Department of Administrative Law, Faculty of Law, University of Rijeka*

Dr. sc. Rade Garić, Institut za more i priobalje Sveučilišta u Dubrovniku / *Institute for Marine and Coastal Research, University of Dubrovnik*

Prof. dr. sc. Sanja Gašparović, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu / *Faculty of Architecture, University of Zagreb*

Dr. sc. Ljiljana Iveša, Centar za istraživanje mora, Institut Ruđer Bošković, Rovinj / *Center for Marine Research, Ruđer Bošković Institute, Rovinj*

Dr. sc. Neven Iveša, Fakultet prirodnih znanosti, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli / *Faculty of Natural Sciences, Juraj Dobrila University of Pula*

Izv. prof. dr. sc. Andrej Jaklin, Centar za istraživanje mora Rovinj Instituta Ruđer Bošković / *Center for Marine Research, Ruđer Bošković Institute, Rovinj*

Dr. sc. Silvija Kipson, SeaFan Zagreb / *SeaFan, Zagreb*

Izv. prof. dr. sc. Ines Kovačić, Fakultet prirodnih znanosti, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli / *Faculty of Natural Sciences, Juraj Dobrila University of Pula*

Dr. sc. Romina Kraus, Centar za istraživanje mora, Institut Ruđer Bošković, Rovinj / *Center for Marine Research, Ruđer Bošković Institute, Rovinj*

Prof. dr. sc. Davor Lučić, Institut za more i priobalje Sveučilišta u Dubrovniku / *Institute for Marine and Coastal Research, University of Dubrovnik*

Dr. sc. Vesna Mačić, Institute of Marine Biology, University of Montenegro, Kotor, Montenegro / *Institute of Marine Biology, University of Montenegro, Kotor, Montenegro*

Dr. sc. Daniela Marić Pfankuchen, Centar za istraživanje mora, Institut Ruđer Bošković, Rovinj / *Center for Marine Research, Ruđer Bošković Institute, Rovinj*

Izv. prof. dr. sc. Dragan Mišetić, Sveučilište obrane i sigurnosti „Dr. Franjo Tuđman“ / *University of Defence and Security “Dr. Franjo Tuđman”*

Dr. sc. Željko Pavlinec, Aquarium Pula / *Aquarium Pula*

Izv. prof. dr. sc. Kristina Pikelj, Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu / *Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb*

Doc. dr. sc. Bruna Petani, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu Sveučilišta u Zadru / *Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture, University of Zadar*

Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci / *Faculty of Civil Engineering, University of Rijeka*

Prof. dr. sc. Tomislav Šarić, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu Sveučilišta u Zadru / *Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture, University of Zadar*

Dr. sc. Vjekoslav Tičina, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split / *Institute of Oceanography and Fisheries, Split*

Dr. sc. Ivica Vilibić, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Zagreb / *Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Zagreb*

Dr. sc. Barbara Zorica, Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split / *Institute of Oceanography and Fisheries, Split*

PREDGOVOR

Jadransko more, u usporedbi s ostalim morima, zauzima vrlo malu površinu, tek 4,6 % ukupne površine Sredozemnog mora. Jadran je poluzatvoreno i plitko more, izrazito osjetljivo na sve intenzivnije utjecaje ljudskih aktivnosti: turizma, ribarstva, pomorskog prometa, marikulture, eksploatacije ugljikovodika, ali i na snažne utjecaje koje donose klimatske promjene. Povećanjem temperature mora u Jadranu se sve više pojavljuju različite nedomicilne termofilne vrste riba, algi, bakterija i želatinoznih organizama. Svjedočimo izrazito visokim temperaturama mora, i do 30 °C kao što je zabilježeno zadnjih godina (2022.-2026.) tijekom ljetnih mjeseci. Sve se češće i ranije pojavljuju cvjetanja fitoplanktona, a razni patogeni uzrokuju veće pomore organizama. Dolazi do promjene areala rasprostranjenosti vrsta unutar Jadranskog mora, kao i do promjena u dotocima voda i hranjivih tvari putem rijeka, što posljedično utječe na salinitet, razinu mora i cirkulaciju vode. Sve su češći i intenzivniji donosi pustinjske prašine koji dodatno može utjecati na biološku aktivnost u moru. Djelatnostima čovjeka u more dopijevaju veće količine hranjivih i različitih štetnih tvari koje imaju svojstvo bioakumulacije i biomagnifikacije te postaju dijelom hranidbene mreže.

Jadransko je more prirodni resurs neophodan za život, kako morskih organizama tako i čovjeka. Promjene koje se u njemu događaju imaju utjecaj na gospodarstvo i kvalitetu življenja čovjeka te se provođenje aktivne zaštite Jadranskog mora nameće kao nužnost i jedino rješenje koje omogućuje daljnji održivi razvoj. Za to je nužno razumijevanje povezanosti funkcioniranja svih procesa more-kopno te upoznavanje donosilaca odluka sa znanstvenim spoznajama na svim razinama. Vrlo je bitno s temeljnim znanjima o utjecaju klimatskih promjena na more, procese i živi svijet u njemu upoznati i širu društvenu zajednicu, uključujući i najmlađe članove, kao i o mogućim posljedicama nedovoljno ozbiljnog shvaćanja te problematike za čovjeka. S ciljem osvještavanja šire društvene zajednice o utjecaju klimatskih promjena u kombinaciji s drugim pogubnim ljudskim aktivnostima na Jadransko more, a u kontekstu UN-ovog desetljeća oceanske znanosti za održivi razvoj 2021. - 2030. (oceansko desetljeće) planiramo u suradnji s relevantnim znanstvenim i edukativnim institucijama u RH organizirati međunarodni VII. znanstveni i stručni skup: Klimatske promjene i očuvanje morskih ekosustava Jadranskog mora na kojem će biti razmatrani negativni utjecaji, od djelatnosti čovjeka do klimatskih promjena, na ekosustav Jadranskog mora te moguće prilagodbe brzim promjenama koje se u morima događaju i nužnost provođenja aktivne zaštite morskih ekosustava. Naglasak Skupa je na znanstveno-istraživačkom, edukacijskom, socioekonomskom i humanističkom pristupu razmatranju prilagodbi, mjera i dobrih praksi u rješavanju problema izazvanih klimatskim promjenama, naročito s aspekta zaštite i očuvanja morskih ekosustava. Želja organizatora je motivirati sudionike na razmjenu ideja, znanja i iskustava s mogućnošću suradnje na postojećim i iniciranju novih multi- i interdisciplinarnih projekata te prosljeđivanju znanja široj društvenoj zajednici, posebno tijelima upravljanja na lokalnoj i državnoj razini. Jasno definirani zaključci Skupa o važnosti ove teme bit će predstavljeni široj javnosti putem medija i brošura, s ciljem podizanja svijesti o potrebi provedbe plavog i održivog razvoja. Skup će se sastojati od plenarnih predavanja, usmenih i posterskih izlaganja iz područja prirodnih, biotehničkih, tehničkih, društvenih i humanističkih znanosti prema sljedećim temama:

- Uloga morskih zaštićenih područja u prilagodbi klimatskim promjenama
- Klimatske promjene i njihov utjecaj u Jadranskom moru; brzina klimatskih promjena

- Utjecaj klimatskih promjena na ranjivost sektora marikulture i ribarstva te moguće mjere prilagodbi; prekomjerno iskorištavanje morskih resursa
- Mjere i dobri primjeri pristupa klimatskim promjenama; moguće prilagodbe i mjere u praksi, plava ekonomija
- Onečišćenje i zagađenje mora, uključujući buku i biološko zagađenje invazivnim stranim vrstama
- Mehanička uništavanja staništa i pridnenih zajednica
- Utjecaj klimatskih promjena na morske sustave u školskim programima
- Morski ekosustavi i klimatske promjene u zakonskoj regulativi RH
- Strategija prilagodbi i mjera za očuvanje staništa i vrsta Jadranskog mora
- Nove tehnologije u istraživanjima mora povezanim s promjenom klime; klimatsko modeliranje
- Pismenost o oceanu, građanska znanost i sinergija između znanosti i umjetnosti
- Društvena ekologija i društveni mehanizmi klimatskih promjena; sinergija između ekologije i ekonomije; zaštita okoliša i obrambena sigurnost

FOREWORD

The Adriatic Sea is very small in relation to the surface of all seas, constituting only 4.6% of the total surface of the Mediterranean Sea. The Adriatic is a semi-enclosed and shallow sea, extremely sensitive to the increasingly intense impacts of human activities: tourism, fisheries, maritime traffic, mariculture, hydrocarbon exploitation, and the strong impacts of climate change. With the increase of sea temperature in the Adriatic, various non-indigenous thermophilic species of fish, algae, bacteria and gelatinous organisms are more frequently appearing. We are witnessing extremely high sea temperatures, up to 30°C as recorded in recent years (2022-2024) during the summer months. Phytoplankton blooms appear earlier and more frequently, and various pathogens cause mass mortalities of organisms. There is also a change in the abundance and distribution of species within the Adriatic Sea. The changes are visible in sea currents as well as in inflows of freshwater and nutrients from rivers, resulting in salinity changes. Dust storms are becoming increasingly frequent and intense, which can further affect biological activity in the sea. The sea level is also rising, and the circulation of water in the Adriatic is changing. Due to human activities, larger amounts of nutrients and various harmful substances with the tendency of bioaccumulation and biomagnification reach the sea and become part of the food web.

The Adriatic Sea is a natural resource necessary for life, both, for organisms and humans. The changes occurring in it impact the economy and the quality of human life. So, the implementation of active protection of the Adriatic Sea is vital and the only solution to support sustainable development. However, to effectively implement the protection of the Adriatic, it is necessary to understand the connection between the functioning of all sea-land processes and to present scientific knowledge to decision-makers at all levels. It is very important to familiarize the broader society, including the youngest members, with the fundamental knowledge of the impact of climate change on the sea, its processes, and its living organisms, as well as with the potential consequences for humans of not taking this issue seriously. To achieve the awareness of the broader social community about the impact of climate change in combination with other negative human activities on the Adriatic Sea, and in the context of the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development 2021-2030 (Ocean Decade), we plan to organize the 7th International Scientific-Expert Conference: Climate Change and Conservation of the Marine Ecosystems of the Adriatic Sea. The conference will address the negative impacts - from human activities to climate change - on ecosystems of the Adriatic Sea, as well as possible adaptations to rapid changes occurring in the seas and the necessity of active protection of marine ecosystems. The conference's emphasis is on scientific research, educational, socio-economic, and humanistic approaches to considering adaptations, measures, and best practices in addressing issues caused by climate change, particularly from the perspective of protecting and conserving marine ecosystems. The organizers aim to motivate participants to exchange ideas, knowledge, and experiences with the possibility of collaboration on existing projects and initiating new multi- and interdisciplinary projects. Another aim is to disseminate knowledge to the broader community, especially to local and state-level governance bodies, which is encouraged by organizing the Conference each year on a different location along the Adriatic coast. The Conference's clearly defined conclusions on the importance of these topics will be presented to the general public through the media and brochures, to raise awareness of the need to implement blue and sustainable development. The

programme of the Conference will include plenary sessions, oral and poster presentations in the field of natural, biotechnical, technical, social and humanistic sciences addressing the following topics:

- The role of marine protected areas in climate change adaptation
- Climate change and its impact in the Adriatic Sea, speed of climate change
- Impact of climate change on vulnerability of mariculture and fisheries sectors and possible measures of adaptation; overexploitation of natural marine resources
- Examples of good approaches to climate change; possible adaptations to climate change and measures in practice; blue economy
- Marine pollution and contamination, including noise and bio pollution with invasive non-indigenous species
- Mechanical destruction of marine benthic habitats and benthic communities
- Climate change impact on marine ecosystems in school curricula
- Marine ecosystems and climate change in the legislation of the Republic of Croatia
- Adaptation strategies and measures for preservation of habitats and species of the Adriatic Sea
- New technologies in marine research dealing with climate change; climate modelling
- Ocean literacy, citizen science, and synergy between science and arts
- Social ecology and social mechanisms of climate change; synergy between ecology and economy; environmental protection and defence security

SADRŽAJ / CONTENTS

PROGRAM SKUPA / CONGRESS PROGRAMME	1
PLENARNO PREDAVANJE / PLENARY LECTURE.....	11
USMENE PREZENTACIJE / ORAL PRESENTATIONS.....	17
POSTERSKE PREZENTACIJE / POSTER PRESENTATIONS	102

PROGRAM SKUPA

Četvrtak, 1. 10. 2026. Kongresna dvorana, Hotel Neptun Brijuni

10.00 – 20.00 Dolazak i smještaj sudionika

18.00 – 19.00 Piće dobrodošlice i neformalna rasprava

Petak, 2.10. 2026. Kongresna dvorana, Hotel Neptun Brijuni

8.30 -9.30 Dolazak i registracija sudionika, postavljanje postera ispred Kongresne dvorane (1.kat)

9.30 Otvorenje skupa i uvodni govor

Moderator: Irena Ciglencečki Jušić

Plenarno priopćenje:

10.00 Saul Ciriaco, Maurizio Spoto

MPA Miramare u 40. godini: Četiri desetljeća učinkovitog upravljanja i projekt obnove koralja RES-COR kao studija slučaja prilagodbe klimatskim promjenama
Miramare MPA at 40: Four Decades of Effective Management and the RES-COR Coral Restoration Project as a Climate Adaptation Case Study

Usmena priopćenja:

10.45 Ivana Sučić, Tatjana Obučina, Aljoša Duplić, Maja Dobričić Kolić

Od podataka do odluka: razvoj nacionalnog sustava potpore odlučivanju za prilagodbu klimatskim promjenama

From Data to Decisions: Developing a National Climate Adaptation Decision Support System

11.00 Elena Terzić, Ivica Vilibić

Ubrzanje termohalinih promjena u Sredozemnom moru: dokazi iz **opažanja**

Observational evidence for accelerating thermohaline change in the Mediterranean Sea

11.15 Ivica Vilibić, Elena Terzić

Jadransko more prolazi kroz dosad nezabilježene promjene termohalinih svojstava

The Adriatic Sea undergoes unprecedented changes in thermohaline properties

11.30 Paolo Vavasori, Davide Bonaldo, Davide Zanchettin, Federica Braga, Gianmarco Scarpa, Debora Bellafiore, Christian Ferrarin, Alessandro Bergamasco

Plimno forsirani Box Model za klimatski uvjetovane toplinske tokove u prijelaznim lagunama reproducirani pomoću modela kutije

A Tidally Forced Box Model for Climate-Driven Heat Fluxes in Transitional Lagoons

- 11.45 Iva Dominović Novković**, Marija Marguš, Tatjana Bakran-Petricioli, Donat Petricioli, Georgiy Kirillin, Peter Robins, Irena Ciglencečki-Jušić, Ivica Vilibić
Istraživanje prošlosti i budućnosti hidrodinamike jezera Zmajevu oko mjerenjima, terenskim eksperimentima i modeliranjem
Understanding Zmajevu Oko lake hydrodynamics through monitoring, field experiments and modelling: Past and present

12.00 Pauza za kavu / Razgledavanje postera ispred Kongresne dvorane

Moderator: Romina Kraus

- 12.30 Marija Marguš**, Iva Dominović Novković, Georgiy Kirilin, Irena Ciglencečki
Izotopni potpis stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u stratificiranom morskom jezeru
Isotopic Signatures of Stable $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ Isotopes in a Stratified Marine Lake
- 12.45 Nikola Zdolšek**, Iva Dominović-Novković, Luka Andrijanić, Rajna Marija Jozić, Marija Marguš, Irena Ciglencečki-Jušić
Reducirane sumporne specije kao indikatori redoks stanja u Rogozničkom jezeru – Zmajevu oko
Reduced sulfur species as indicators of water-column redox conditions in Rogoznica Lake-Dragon's Eye
- 13.00 Neven Iveša**, Irena Ciglencečki-Jušić, Rajna Jozić, Andrea Budiša, Gioconda Millotti, Lada Jagatić, Andreja Kokorović, Paolo Paliaga
Sezonska dinamika zadržavanja i iznošenja organske tvari u obalnoj močvari Palud-Palù
Seasonal shifts of organic matter retention and export in the Palud-Palù coastal marsh
- 13.15 Jelena Dautović**, Irena Ciglencečki-Jušić, Luka Andrijanić, Nikola Zdolšek, Rajna Marija, Jozić
Razvoj metode za analizu omjera stabilnih izotopa ^{15}N i ^{13}C u okolišnim uzorcima
Method development for the analysis of stable isotope ratios ^{15}N and ^{13}C in environmental samples
- 13.30 Lovro Suić**, Vlasta Čosović, Igor Felja
Što nam deformacije vrsta roda Peneroplis (Foraminifera) govore o zagrijavanju sjevernog Jadrana (otok Pag)?
What do Peneroplis (Foraminifera) test deformations reveal about seawater warming in the Northern Adriatic (Pag Is.)?
- 13.45 Lara Vilim, Janja Francé, Petra Slavinec, Edward A.D. Mitchell, Patricija Mozetić**
Dinamika kokolitoforida u sjevernom Jadranu u uvjetima kontinuiranog zagrijavanja i promjena okoliša
Coccolithophore dynamics in the northern Adriatic Sea under ongoing warming and environmental change

14.00 Pauza za ručak

Moderator: Kristina Pikelj

- 15.30 Nadica Ivošević DeNardis**, Nives Novosel, Tea Mišić Radić, Maja Levak Zorinc, Joanna Zemla, Malgorzata Lekka, Ivna Vrana, Blaženka Gašparović, Lucija Horvat, Damir Kasum, Tarzan Legović, Petar Žutinić, Marija Gligora Udovič
Kako mikroalge odgovaraju na klimatske promjene?
How do microalgae respond to climate change?
- 15.45 Andrea Bilajac**, Edi Gljušćić, Marsej Markovski, Matej Čief, Ljiljana Iveša
Odgovori smeđe makroalge *Gongolaria barbata* na ekstremne temperature: uvid iz *ex situ* i *in situ* eksperimenta
Responses of the brown macroalga *Gongolaria barbata* on extreme temperatures: insights from *ex situ* and *in situ* experiments
- 16.00 Edi Gljušćić**, Andrea Bilajac, Marsej Markovski, Matej Čief, Gabriel Rowell, Ljiljana Iveša
Što se događa s jadranskim bračićem? Pregled na bazi populacije i zajednice
What is going on with the Adriatic *Fucus*? A population and community-based overview
- 16.15 Ljiljana Iveša**, Edi Gljušćić, Andrea Bilajac, Hrvoje Čižmek, Barbara Čolić, Marsej Markovski, Matej Čief, Gabriel Rowell
Priobalne bentoske zajednice Novigradskog i Karinskog mora: Ekološka zamka ili utočište za smeđe alge?
Coastal benthic communities of the Novigrad and Karin Seas: Ecological trap or refuge for brown algae?
- 16.30 Romina Kraus**, Paolo Paliaga, Andrea Budiša, Natalija Dunić, Nastjenjka Supić
Ktenofora *Mnemiopsis leidyi* u sjevernom Jadranu: od unosa balastnim vodama do trajnog naseljavanja i visokih abundancija
The ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the northern Adriatic: from ballast water introduction to permanent establishment and high abundance
- 16.45 Petar Kružić**, Pavel Ankon, Romana Gračan, Sven Horvatić
Grebeni koralja *Cladocora caespitosa* u istočnom Jadranu i njihova ugroženost klimatskim promjenama
A *Cladocora caespitosa* banks in the eastern Adriatic Sea and their vulnerability to climate change
- 17.00 Petar Kružić**, Pavel Ankon, Romana Gračan, Hrvoje Čižmek, Barbara Čolić, Agata Kovačev
Ugroženost populacija crvenog koralja u istočnom dijelu jadranskog mora
Threat Status of Red Coral Populations in the Eastern Adriatic Sea
- 17.15 Romana Gračan**, Pavel Ankon, Petar Kružić
Histološki odgovor dvije vrste gorgonija na dubinske toplinske valove u Jadranskom moru
Histological response of two gorgonians on subsurface marine heatwaves in the Adriatic Sea

- 17.30 Pavel Ankon**, Petar Kružić, Romana Gračan, Sven Horvatić
Dubina nije utočište: morski toplinski valovi uzrokuju vidljiva i skrivena oštećenja jadranskih koralja
Depth Is Not a Refuge: Marine Heatwaves Drive Visible and Cryptic Damage in Adriatic Corals

17.45 Rasprava i Zaključci skupa I. Dan

19.00 Zajednička večera za sudionike skupa

Subota, 3. 10. 2026. Kongresna dvorana, Hotel Neptun Brijuni

8.00 - 9.00 Dolazak i registracija sudionika

Moderator: Slavica Čolak

Plenarno priopćenje:

- 9.00 Aljoša Duplić**, Ramona Topić
Obnova prirode, novi odgovor na stare pritiske
Nature Restoration, A New Response to Old Pressures

Usmena priopćenja:

- 9.30** Tjaša Kogovšek, Darja Mazej, Marta Jagodic Hudobivnik, Alenka Malej, Ingrid Falnoga, **Jadran Faganeli**
Meduze sjevernog Jadrana kao bioindikator metala i metaloida
Northern Adriatic jellyfish as a bioindicator of metal(loid)s
- 9.45 Daria Ezgeta-Balić**, Ratko Cvitanić, Nikola Balić, Niko Bujas, Barbara Zorica
Unaprjeđenje spoznaja o europskoj plosnatoj kamenici u istočnom Jadranu kroz inicijativu građanske znanosti
Enhancing knowledge of flat oyster populations in the eastern Adriatic Sea through citizen science data collection
- 10.00 Matej Čief**, Ljiljana Iveša, Neven Iveša, Moira Buršić, Zrinka Ljubešić
Raznolikost epibionata male rakovice *Maja crispata* Risso, 1827 u Medulinskom zaljevu
Epibiont diversity of the lesser crab *Maja crispata* in Medulin Bay
- 10.15 Vjekoslav Tičina**
Utjecaj klimatskih promjena na dinamiku populacije inćuna i sredele te njihovo gospodarenje u Jadranu
The impact of climate change on anchovy and sardine population dynamics and their management in the Adriatic Sea
- 10.30 Sunčica Bosak**, Romana Gračan, Lucija Kanjer, Maja Mucko, Marta Žižek, Klara Filek

Mikrobiom glavatih želvi u Jadranskom moru: utjecaj okolišnih čimbenika i značaj za očuvanje

Loggerhead sea turtle microbiome in the Adriatic Sea: influence of environmental factors and implications for conservation

- 10.45** Andrea Budiša, Paolo Paliaga, Niki Simonović, Mirjana Najdek, Irena Ciglencečki-Jušić

Pojave sluzi u sjevernom Jadranu 2024. godine, s fokusom na procese mikrobne petlje

The 2024 mucilage outbreak in the northern Adriatic, with microbial loop processes in focus

- 11.00** Željko Pavlinec, Paolo Paliaga, Marija Mladinić, Neven Iveša, Andrea Budiša, Milena Mičić

Sezonska dinamika mikrobioma u boćatom priobalnom jezeru (Palud, Istra): voda naspram sedimenta u kontekstu klimatskih promjena

Seasonal microbial dynamics in a brackish coastal lake (Palud, Istria): water vs. sediment in a climate-change context

- 11.15** Bojan Hamer, Kristina Grozić, Luca Privileggio, Dijana Pavičić-Hamer, Anđela Premzl, Danijela Poljuha, Maja Maurić Maljković, Tibor Janči

Kvaliteta kamenica iz Limskog zaljeva (*Ostrea edulis* vs *Magallana gigas*) i recentni izazovi

Lim Bay oysters (*Ostrea edulis* vs *Magallana gigas*) quality and recent production challenges

- 11.30** **Pauza za kavu / Pregledavanje postera ispred Kongresne dvorane**

Moderator: Ivica Vilibić

- 12.00** Marija Sedak, Nina Bilandžić, Jelena Kaurinović, Ivana Varenina, Maja Đokić, Đurđica Božić Luburić, Božica Solomun Kolanović, Irena Žarković, Bruno Čalopek

Ravnoteža selena i žive u uzgojenoj i divljoj plavoperajnoj tuni iz hrvatskog dijela Jadranskog mora

Selenium-mercury balance in Farmed and Wild Bluefin Tuna from the Croatian part of the Adriatic Sea

- 12.15** Slavica Čolak, Matko Kolega, Danijel Mejdandžić, Toni Števanja, Šime Franov, Tijana Milićević, Bosiljka Mustać, Ivan Župan, Tomislav Šarić

Praćenje parazitarnih bolesti kod uzgajane ribe u skladu s promjenama temperature mora

Monitoring parasitic diseases in farmed fish in accordance with changes in sea temperature

- 12.30** Vlatka Filipović Marijić, Martina Ugrinović, Davor Merkaš, Damir Valić, Fabio Faraguna, Kristina Pikelj

Onečišćenje plastikom u Srednjem Jadranu i njezina prisutnost na različitim lokacijama i organizmima

Plastic contamination in the Middle Adriatic Sea and its occurrence in different locations and organisms

12.45 Kristina Pikelj, Marija Meklav

Uloga neptunovih kuglica u uklanjanju plastike iz mora

The role of Neptune balls in removing plastic from the sea

13.00 Danijela Mioković

Kako djelovati u borbi s klimatskim promjenama: Ključna pitanja prije odluka

Taking action on climate change: Key questions before decisions

13.15 Biljana Martinčić, Saša Đurić, Dubravko Pavičić

Od korištenja prirodnih resursa do odgovornosti: Upravljanje morskom vodom u industriji

From resource use to responsibility: Managing seawater in industrial processes

13.30 Joško Trošelj, Elvis Žic

Usporedba razine povjerenja u sustave ranog upozoravanja od prirodnih nepogoda u Hrvatskoj i Japanu

Trust Level Comparison in Early Warning Systems for Natural Disasters in Croatia and Japan

13.45 Pauza za ručak

Moderator: Irena Ciglencečki-Jušić, Kristina Pikelj

16.00 Emil Srblijanin, Ana Mrđa

Integracija turističkih zona i obalnog grada: analiza pokazatelja klimatski prilagodljivog planiranja na primjeru grada Rovinja

Integration of Tourist Zones and the Coastal City: An Analysis of Climate-Adaptive Planning Indicators in the Case of the City of Rovinj

16.15 Dalibor Carević, Marijana Serdar, Ivana Carević

Obalna brownfield područja kao interdisciplinarni izazov zaštite Jadrana

Coastal Brownfield Areas as an Interdisciplinary Challenge for the Protection of the Adriatic Sea

16.30 Igor Ružić, Leonarda Vuksan, Maximilian Wagner

Između obnove i devastacije: kada su nasipavanje obale i dohranjivanje plaža opravdani na urbaniziranim obalama

Between Restoration and Degradation: When Are Coastal Reclamation and Beach Nourishment Justified on Urbanized Coasts?

16.45 Igor Ružić, Denis Ambruš

Utjecaj urbanističkog planiranja na obalnu ranjivost u uvjetima porasta razine mora

The Influence of Urban Planning on Coastal Vulnerability under Sea-Level Rise Conditions?

17.00 Melita Mokos, Ivana Zubak Čižmek
Integracija Europskog okvira za plavo obrazovanje u Hrvatskoj: napredak i rezultati samoprocjene
Integration European Blue Education Framework in Croatia: Progress and Results of the Self-Assessment Tool

17.15 Biljana Agić, Irina Kozličić Juraga
Antropogeni utjecaj na plaži kroz oči djeteta
Anthropogenic Impact on the Beach through the Eyes of a Child

17.30 Jasna Lovrinčević
Znanošću i umjetnošću za opstanak čovječanstva
Science and Art For the Survival of the Humanity

17.45 Rasprava i zaključci skupa II. dan i prijedlog teme za 2027. godinu

18.45 Informacije o stručnom izletu

Nedjelja, 4 .10. 2026. Stručni izlet uz vodstvo djelatnika NP Brijuni

9.00 Okupljanje sudionika ispred hotela Neptun

13.00 Povratak s izleta i ručak u vlastitom aranžmanu

Posterska priopćenja:

Anja Batina
Ranjivost obalnog jezerskog ekosustava na klimatske promjene u jadranskoj regiji na primjeru Vranskog jezera u Hrvatskoj
Vulnerability of coastal lake ecosystem to climate change in the Adriatic Region: A Case Study of Vrana Lake, Croatia

Luka Andriijanić, Nikola Zdolšek, Rajna Marija Jozić, Jelena Dautović, Irena Ciglenečki-Jušić
Stratifikacijom uvjetovana varijabilnost i EA–IRMS analiza $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ u uzorcima niskih masa iz Rogozničkog jezera – Zmajevo oko
Stratification-induced variability and EA–IRMS analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in low-mass samples from Rogoznica Lake - Zmajevo oko

Martina Hervat, Frano Matić, Jure Brčić, Andrea Blašković, Silvija Kipson
Morski toplinski valovi u sjevernom Jadranu: usporedba in-situ mjerenja i CMEMS reanalize na postaji Grunj, Nacionalni park Brijuni
Marine heatwaves in the Northern Adriatic Sea: a comparison of in-situ observations and CMEMS reanalysis at Grunj station, Brijuni National Park

Nives Kovač, Iztok Arčon, Nastja Rogan Šmuc
Petola kao biogeokemijsko sučelje u uvjetima klimatskih promjena
Petola as a biogeochemical interface under climate change

Rino Stanić, Andrea Čobić, Vice Zamberlin, Marija Meklav, Dina Jagečić, Kristina Pikelj
Uloga organizama u stvaranju biogenog sedimenta plaža i njihovog očuvanja na primjeru plaže Lojišće

The role of organisms in the formation of biogenic beach sediment and its preservation: the example of Lojišće beach

Marijana Hure

Globalne promjene i ekosustav južnog Jadrana: učinci na zooplanktonske populacije s fokusom na vrstu *Calanus helgolandicus*

Global changes and the ecosystem of the southern Adriatic: effects on zooplankton populations with a focus on the species *Calanus helgolandicus*

Filip Putak, Nives Novosel Vlašić, Nadica Ivošević DeNardis

Adaptacijski odgovor mikroalge *Dunaliella tertiolecta* na ekstremne uvjete saliniteta

Adaptive response of the microalga *Dunaliella tertiolecta* to extreme salinity conditions

Nives Novosel Vlašić, Filip Putak, Romina Kraus, Nadica Ivošević DeNardis

Od solane do laboratorija: Izolacija i karakterizacija autohtonog soja mikroalge roda *Dunaliella*

From saltern to laboratory: Isolation and characterization of an autochthonous strain of microalgae of the genus *Dunaliella*

Martina Hervat, Nicolas Cvijanović, Moira Buršić

Makrofauna plitkih rodolitnih dna u Nacionalnom parku Brijuni

Macrofauna associated with shallow rhodolith beds in Brijuni National Park

Daria Trinajstić, Jadran Tolić, Mia Bacalja, Pavel Ankon

Preliminarni rezultati usporedbe epifaunalnih zajednica sjevernog i srednjeg Jadrana

Preliminary results of research on epifaunal communities in northern and central Adriatic

Alenka Malej, Tjaša Kogovšek, Jan Malej, Matevž Malej, Martin Vodopivec

Klimatske promjene i masovne pojave meduza određuju biomasu zooplanktona (1993. – 2018.) u Tršćanskom zaljevu

Climate Forcing and Jellyfish Blooms Shape Zooplankton Biomass (1993–2018) in the Gulf of Trieste

Rina Milošević, Marija Jurica, Ivan Marić, Bruna Petani, Slavica Čolak

Kartiranje i procjena stanja staništa koralja *Cladocora caespitosa* kod otoka Iža primjenom podvodne fotogrametrije i GIS analiza

Mapping and Assessment of the Habitat Condition of the Coral *Cladocora caespitosa* near Iž Island Using Underwater Photogrammetry and GIS Analyses

Ines Kovačić, Dorian Marijan, Gioconda Millotti, Moira Buršić, Petra Burić

Gustoća populacije, morfometrijski parametri i biološki indeksi ježinca *Sphaerechinus granularis* u priobalnom području Pule

Population density, morphometric parameters and biological indices of *Sphaerechinus granularis* in the Pula coastal area

Andrea Budiša, Paolo Paliaga, Iva Horvat, Jakov Cvek Špralja, Neven Iveša
Invazivne vrste u sredozemnoj priobalnoj močvari Palud–Palù (sjeveroistočni Jadran)
Invasive species in the Mediterranean coastal marsh Palud–Palù (northeastern Adriatic Sea)

Valter Kožul, Nenad Antolović, Nikša Glavić
Prvi nalaz ribe gušter *Synodus randalli* (Cressey, 1981) u Jadranskom moru
First record of Randall's lizardfish *Synodus randalli* (Cressey, 1981) in the Adriatic Sea

Bruna Babin, Marija Jurica, Petar Zuanović, Rina Milošević, Tomislav Šarić, Ivan Župan, Slavica Čolak
Utjecaj različitih antropogenih čimbenika na morsku mačku mrkulju (*Scyliorhinus stellaris*)
Impact of environmental and anthropogenic factors on the physiological condition of the nursehound (*Scyliorhinus stellaris*)

Petra Burić, Lea Lulić, Neven Iveša, Moira Buršić, Ines Kovačić
Obraštaj morskih organizama na naplavljenom otpadu i analiza otpada na plažama jugoistočne Istre tijekom dvije godine
Biofouling of marine organisms on stranded marine litter and analysis of beach litter on the Southeastern Istrian coast over a two-year period

Bosiljka Mustać, Bruna Petani, Bruna Babin, Dominik Miočić, Luka Tomljanović, Ivan Župan, Slavica Čolak
Klimatske promjene i utjecaj temperature na bolesti u morskim ekosustavima
Climate change and temperature impact on disease in marine ecosystems

Kristina Grozić, Marija Fornažar, Luca Privileggio, Dijana Pavičić-Hamer, Anđela Premzl, Mirta Smodlaka Tanković, Daniela Marić Pfannkuchen, Martin Andreas Pfannkuchen, Ana Baričević, Bojan Hamer
Marikultura kao sustav ranog upozoravanja: opis najsjevernije jadranske populacije vrste *Pinctada radiata*
Mariculture as an early-warning platform: Description of the northernmost Adriatic population of *Pinctada radiata*

Marija Jurica, Bruna Babin, Petar Zuanović, Rina Milošević, Tomislav Šarić, Ivan Župan, Slavica Čolak
Procjena zdravstvenog stanja i somatskih indeksa škrpuna (*Scorpaena porcus*) u zadarskom akvatoriju
Assessment of Health Status and Somatic Indices of Black Scorpionfish (*Scorpaena porcus*) in the Zadar Aquatory

Nina Bilandžić, Ines Varga, Jelena Kaurinović, Božica Solomun Kolanović, Marija Sedak, Ivana Varenina, Maja Đokić, Bruno Čalopek, Slavica Čolak, Bosiljka Mustać, Bruna Petani
Razlike u koncentracijama perfluoralkilnih tvari (PFAS) između uzgojenih i divljih jedinki tune i orade
Differences in concentrations of perfluoroalkyl substances (PFAS) between farmed and wild tuna and seabream

Saša Zelenika, Petar Gljušić, Marko Perčić, Nina Negovanović, Ivan Prvonožec, Ivan Trgovac, Ante Vukić, Bartol Zemljak

Pametne plutače napajane EH tehnologijama za praćenje stanja mora

EH-based smart buoys for marine monitoring

Mirko Barada, Charlotte Lyddon, Aaron Furnish, Thomas W. Clough, Peter E. Robins

Ispod površine: Izazovi u generiranju kvalitetne batimetrije za modeliranje poplava i kvalitete vode

Beneath the Surface: Challenges in Building a Good Bathymetry for Modelling Floods and Water Quality

Marin Papić, **Sanja Gašparović**

Obalna adaptabilnost u kontekstu klimatskih promjena i turističkih pritisaka: slučaj Supetra

Coastal Adaptability in the Context of Climate Change and Tourism Pressures: The Case of Supetar

Ivica Kinder

Polaganje podmorskih kabela i cjevovoda u kontekstu prostornog planiranja hrvatskoga isključivog gospodarskog pojasa

Laying of Submarine Cables and Pipelines in the Context of the Spatial Planning of the Croatian Exclusive Economic Zone

Valentina Turk, Alenka Malej, Patricija Mozetič

Od podataka o oceanu do plesa: suradnje znanstvenika i umjetnika

From Ocean Data to Dance: Scientist-Artist Collaborations

PLENARNO PREDAVANJE / PLENARY LECTURE

MPA Miramare u 40. godini: Četiri desetljeća učinkovitog upravljanja i projekt obnove koralja RES-COR kao studija slučaja prilagodbe klimatskim promjenama

Saul, Ciriaco¹, Maurizio, Spoto¹

¹WWF Area Marina Protetta di Miramare

e-mail adresa: saul@ampmiramare.it

Jadran, jedan od najosjetljivijih poluzatvorenih bazena Sredozemnog mora, doživljava sve brže klimatske utjecaje: ponavljajuće morske toplinske valove s ljetnim temperaturama morske površine koje se približavaju 30 °C, ranije i intenzivnije cvjetanje fitoplankton, promjene u distribuciji vrsta i pomicanje staništa termofilnih i alohtonih vrsta prema sjeveru. Morska zaštićena područja (MZP) diljem svijeta prepoznata su kao ključni alati za izgradnju otpornosti ekosustava, no njihov stvarni doprinos ovisi o desetljećima dosljednog upravljanja, praćenja i uključivanja zajednice. Morsko zaštićeno područje Miramare (Trst, Tršćanski zaljev, Italija), osnovano 1986. godine dekretom talijanskog Ministarstva okoliša i povjereno WWF-u Italija — jedno od prva dva morska zaštićena područja u Italiji, zajedno s Ušticom, nakon ranijeg neformalnog režima zaštite koji datira iz 1973. godine — obilježava svoju 40. obljetnicu 2026. godine. Ova prezentacija koristi četiri desetljeća upravljanja Miramareom kao studiju slučaja o učinkovitosti MPA, pokazujući kako kontinuitet upravljanja, znanstvenog istraživanja i sudjelovanja javnosti rezultira konkretnim kapacitetom za prilagodbu i ublažavanje posljedica klimatskih promjena. Unatoč tome što obuhvaća samo 30 hektara strogo zaštićenog jezgre područja (plus 90 hektara pojasne zone), Miramare je izgradio međunarodno priznati okvir upravljanja: dio je UNESCO-ve mreže rezervata čovjeka i biosfere od 1979. godine, ima status Posebno zaštićenog područja mediteranskog značaja (SPAMI), bio je prvi talijanski morski rezervat certificiran prema shemi EU za ekoupravljanje i reviziju (EMAS, od 2004.) i proglašen je lokalitetom Natura 2000 od zajedničkog značaja. Dugoročno praćenje, partnerstva u primijenjenim istraživanjima i dobro uspostavljen program obrazovanja o okolišu i građanske znanosti (koji godišnje obuhvaća oko 15 000 posjetitelja i učenika) učinili su Miramare referentnom točkom za druge mediteranske morske parkove i poligonom za prilagodljivo upravljanje utemeljeno na dokazima. Nadovezujući se na ovo uspješno iskustvo, prezentacija se usredotočuje na RES-COR (Strategije ekološke obnove i prilagodbe klimatskim promjenama za *Cladocoru caespitosu* i pre-koraljne habitate), novi projekt koji je MPA Miramare razvio kao odgovor na poziv talijanskog Ministarstva okoliša i energetske sigurnosti pod nazivom "Morski zaštićeni prostori za klimu". *Cladocora caespitosa* jedini je hermatipični (graditelj grebena) skleraktinijski koralj u Sredozemlju, koji stvara trodimenzionalne biološke konstrukcije koje podržavaju visoku bioraznolikost i djeluju kao rezervoar plavog ugljika, fiksirajući procijenjenih 1,1 – 1,7 kg CaCO₃ po četvornom metru godišnje (što je ekvivalentno otprilike 0,5 – 0,7 kg vezanog CO₂). Populacije u Jadranskom zaljevu Trsta, međutim, opale su zbog eutrofikacije, masovnih događaja pomora uzrokovanih morskim toplinskim valom i zakiseljavanja oceana. Projekt je strukturiran u tri komplementarna radna paketa. WP1 se oslanja na infrastrukturu za praćenje visoke razlučivosti — HD podvodne kamere s fotogrametrijskom analizom, dronove opremljene multispektralnim i LIDAR senzorima, ROV za dubinska istraživanja i stalnu oceanografsku

plutaču — za praćenje temperature, pH vrijednosti, slanosti, mutnoće i struja, kao i zdravstvenog stanja koraljnih zajednica. WP2 eksperimentira i validira tehnike obnove otporne na klimatske promjene: odabir donorskih kolonija otpornih na toplinu, mikrofragmentaciju i uzgoj u rasadniku te transplantaciju in situ na inovativne podloge na bazi biochar-a koje istovremeno potiču prijanjanje koralja i dodaju dodatnu funkciju sekvestracije ugljika. Preživljavanje, rast i fiziološka učinkovitost presađenih uzoraka prate se tijekom vremena, zajedno s povezanim biodiverzitetom, kako bi se usavršili standardizirani, ponovljivi protokoli obnove. WP3 pretvara te rezultate u participativni plan prilagodbe klimatskim promjenama za pre-koraljizirana staništa sjevernog Jadrana, nadograđujući se na uspostavljene programe građanske znanosti Miramaréa ("Usvoji koloniju *Cladocora*", "Korallidženi pod promatranjem"). Povezujući četrdeset godina utemeljenog upravljanja MPA s inicijativom za obnovu koralja i plavog ugljika koja gleda prema budućnosti i potpomognuta je tehnologijom, Miramare nudi prenosiv primjer kako dugovječne male mediteranske MPA mogu evoluirati u aktivne laboratorije za prilagodbu i ublažavanje klimatskih promjena — kombinirajući praćenje, ekološku obnovu i sudjelovanje zajednice u jedinstveni, ponovljivi model za očuvanje jadranskih morskih ekosustava.

Ključne riječi: Morsko zaštićeno područje, Miramare, *Cladocora caespitosa*, obnova koralja, plavi ugljik, prilagodba klimatskim promjenama, građanska znanost, koraljni habitat

Miramare MPA at 40: Four Decades of Effective Management and the RES-COR Coral Restoration Project as a Climate Adaptation Case Study

Saul, Ciriaco¹, Maurizio, Spoto¹

¹WWF Area Marina Protetta di Miramare

e-mail address: saoul@ampmiramare.it

The Adriatic Sea, one of the most sensitive semi-enclosed basins of the Mediterranean, is experiencing accelerating climate impacts: recurrent marine heatwaves with summer sea-surface temperatures approaching 30°C, earlier and more intense phytoplankton blooms, shifting species distributions, and the northward advance of thermophilic and non-indigenous species. Marine Protected Areas (MPAs) are recognised worldwide as key tools for building ecosystem resilience, yet their real contribution depends on decades of consistent management, monitoring and community engagement. The Miramare Marine Protected Area (Trieste, Gulf of Trieste, Italy), established in 1986 by decree of the Italian Ministry of the Environment and entrusted to WWF Italy — one of the first two MPAs designated in Italy together with Ustica, following an earlier informal protection regime dating back to 1973 — marks its 40th anniversary in 2026. This presentation uses Miramare's four decades of management as a case study of MPA effectiveness, showing how continuity of governance, scientific research and public engagement translate into concrete adaptation and mitigation capacity in the face of climate change. Despite covering only 30 hectares of strictly protected core area (plus a 90-hectare buffer zone), Miramare has built an internationally recognised management framework: it has been part of UNESCO's Man and the Biosphere Reserve network since 1979, holds Specially Protected Area of Mediterranean Importance (SPAMI) status, was the first Italian marine reserve certified under the EU Eco-Management and Audit Scheme (EMAS, since 2004), and is designated as a Natura 2000 Site of Community Importance. Long-term monitoring, applied research partnerships, and a well-established programme of environmental education and citizen science (reaching some 15,000 visitors and students annually) have made Miramare a reference point for other Mediterranean MPAs and a testing ground for adaptive, evidence-based management. Building on this track record, the presentation focuses on RES-COR (Ecological Restoration and Climate Adaptation Strategies for *Cladocora caespitosa* and Pre-coralligenous Habitats), a new project developed by Miramare MPA in response to the Italian Ministry of Environment and Energy Security's call "Marine Protected Areas for Climate". *Cladocora caespitosa* is the only hermatypic (reef-building) scleractinian coral in the Mediterranean, forming three-dimensional bioconstructions that support high biodiversity and act as a blue-carbon sink, fixing an estimated 1.1–1.7 kg of CaCO₃ per square metre per year (equivalent to c. 0.5–0.7 kg of sequestered CO₂). Populations in the Gulf of Trieste, however, have declined due to eutrophication, marine heatwave-induced mass mortality events and ocean acidification. The project is structured in three complementary work packages. WP1 capitalises on high-resolution monitoring infrastructure— HD underwater cameras with photogrammetric analysis, multispectral- and LIDAR-equipped drones, a ROV for deep surveys, and a permanent oceanographic buoy — to track temperature, pH, salinity, turbidity and currents alongside the health status of coralligenous communities. WP2 experiments with and validates climate-resilient restoration techniques: selection of thermally resilient donor colonies, micro-fragmentation and nursery rearing, and in situ transplantation onto innovative biochar-based substrates that both promote coral attachment and add a further carbon-sequestration function. Transplant survival, growth and physiological performance are monitored over time, together with

associated biodiversity, to refine standardised, replicable restoration protocols. WP3 translates these results into a participatory climate adaptation plan for the pre-coralligenous habitats of the northern Adriatic, building on Miramare's established citizen science programmes ("Adopt a Cladocora Colony", "Coralligenous under Observation") and on best practices from the INTERREG MPA-ENGAGE and MPA-ADAPT projects, engaging stakeholders, schools, divers and the wider public in co-designing and disseminating adaptation measures. By connecting forty years of consolidated MPA governance with a forward-looking, technology-supported coral restoration and blue-carbon initiative, Miramare offers a transferable example of how long-established small Mediterranean MPAs can evolve into active laboratories for climate change adaptation and mitigation — combining monitoring, ecological restoration, and community participation into a single, replicable model for the conservation of Adriatic marine ecosystems.

Keywords: Marine Protected Area, Miramare, *Cladocora caespitosa*, coral restoration, blue carbon, climate change adaptation, citizen science, coralligenous habitat

Obnova prirode, novi odgovor na stare pritiske

Aljoša, Duplić¹ Ramona, Topić¹

¹ *Zavod za zaštitu okoliša i prirode, Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb*

e-mail adresa: aljosa.duplic@mzozt.hr

Morski ekosustavi izloženi su brojnim pritiscima koji uključuju klimatske promjene, intenzivno korištenje obalnog prostora, prelov, pomorski promet, turizam, onečišćenje i invazivne strane vrste. Unatoč postojećim mehanizmima zaštite prirode, značajan dio morskih i obalnih staništa u lošem je stanju. Kao odgovor, EU Uredba o obnovi prirode uvodi kvantitativne ciljeve obnove do 2050. godine. U radu se prikazuje koncept Nacionalnog plana obnove prirode (NPOP) Republike Hrvatske kao novog okvira za provedbu obnove ekosustava Jadranskog mora. Proces izrade NPOP-a bio je participativan. Prilikom utvrđivanja stanja morskih stanišnih tipova korištena je posredna metoda, pri čemu je stanje procijenjeno na temelju podataka i informacija o pritiscima. Analizirana su morska staništa i zajednice koje uključuju naselja morskih cvjetnica, naselja makroalgi, dna prekrivena školjkašima, dna prekrivena maerlom te meka dna. Prikazat će se identificirana područja obnove i dvanaest mjera za obnovu morskih ekosustava planiranih do 2032. godine, uključujući uspostavu naprednih sustava sidrenja, aktivnu obnovu livada posidonije, uklanjanje izgubljenih ribolovnih alata, regulaciju ribolovnih aktivnosti, uspostavu područja stroge zaštite te suzbijanje invazivnih stranih vrsta. NPOP predstavlja skretanje glavnog fokusa od zaštite preostalih očuvanih područja prema obnovi degradiranih ekosustava. Njegova provedba trebala bi kroz integrirani pristup osigurati poboljšanje stanja bioraznolikosti, povećanje količine i kvalitete usluga ekosustava te podizanje otpornosti morskih ekosustava. Očekivana je značajna posredna korist za ublažavanje klimatskih promjena. Uspješnost provedbe ovisit će o međuresornoj suradnji, financijskim mehanizmima, kvaliteti podataka i aktivnom uključivanju dionika.

Ključne riječi: Jadransko more, morska staništa, zaštita prirode, obnova ekosustava, otpornost

Nature Restoration, A New Response to Old Pressures

Aljoša, Duplić¹, Ramona Topić¹

¹ *Institute for Environment and Nature, Ministry of Environmental Protection and Green Transition, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb*

e-mail address: aljosa.duplic@mzozt.hr

Marine ecosystems are exposed to multiple pressures, including climate change, intensive use of coastal areas, overfishing, maritime transport, tourism, pollution and invasive alien species. Despite existing nature conservation mechanisms, a significant proportion of marine and coastal habitats remain in poor condition. In response, the EU Nature Restoration Law has introduced quantitative restoration targets to be achieved by 2050. This paper presents the concept of the Croatian Nature Restoration Plan as a new framework for ecosystem restoration in the Adriatic Sea. The preparation process was participatory. In assessing the condition of marine habitat types, a proxy approach was applied, whereby habitat status was estimated on the basis of pressure-related data and information. The analysis covered marine habitats and communities, including seagrass beds, macroalgal communities, shellfish beds, maerl habitats and soft-bottom habitats. The paper presents identified restoration areas and twelve marine ecosystem restoration measures planned by 2032, including the establishment of advanced mooring systems, active restoration of *Posidonia* seagrass meadows, removal of ghost gear, regulation of fishing activities, designation of strictly protected areas and measures aimed at the eradication and control of invasive alien species. Through an integrated approach, the implementation of the Croatian Nature Restoration Plan is expected to improve biodiversity status, enhance the quantity and quality of ecosystem services and strengthen the resilience of marine ecosystems. It represents a significant shift in focus from protecting the remaining well-preserved areas to restoring degraded ecosystems. Significant co-benefits for climate change mitigation are also anticipated. Successful implementation will depend on cross-sectoral cooperation, financing mechanisms, data quality and stakeholder engagement.

Key words: Adriatic Sea, marine habitats, nature conservation, ecosystem restoration, resilience

USMENA IZLAGANJA / ORAL LECTURES

Od podataka do odluka: razvoj nacionalnog sustava potpore odlučivanju za prilagodbu klimatskim promjenama

Ivana, Sučić¹, Tatjana, Obućina², Aljoša, Duplić³, Maja, Dobričić Kolić⁴

¹ Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Zavod za zaštitu okoliša i prirode, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb, ² Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Zavod za zaštitu okoliša i prirode, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb, ³ Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Zavod za zaštitu okoliša i prirode, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb, ⁴ Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije, Zavod za zaštitu okoliša i prirode, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb

e-mail adresa: ivana.sucic@mzozt.hr

Klimatske promjene zahtijevaju donošenje pravodobnih odluka utemeljenih na pouzdanim podacima, interdisciplinarnim analizama i učinkovitoj suradnji različitih sektora. Međutim, dostupni podaci, rezultati istraživanja i stručne podloge često su fragmentirani te ih je teško sustavno koristiti u planiranju i provedbi mjera prilagodbe. Kroz projekt „Uspostava središnje točke za usklađenu provedbu politike prilagodbe klimatskim promjenama“ se u Republici Hrvatskoj uspostavlja prvi integrirani nacionalni sustav za koordinaciju i provedbu politike prilagodbe klimatskim promjenama. Cilj sustava je objediniti podatke, analitičke alate, stručna znanja i međusektorsku suradnju u jedinstveni okvir potpore donošenju odluka. Središnji element sustava čini nacionalna informacijsko-edukacijska platforma koja integrira klimatske podatke, scenarije budućih klimatskih promjena, procjene rizika i digitalne alate za planiranje mjera prilagodbe. Sustav uključuje razvoj sektorskih pokazatelja, analizu postojećih podataka i nedostataka, izradu karata urbanih toplinskih otoka te katalog rješenja temeljenih na prirodi. Njegovu dodatnu vrijednost čini povezivanje javne uprave, znanstvene zajednice i stručnjaka kroz strukturirani dijalog, edukacije i razmjenu znanja, čime se omogućuje prijenos znanstvenih spoznaja u procese donošenja odluka. Takav pristup posebno je važan za sektore upravljanja vodama, bioraznolikosti, ribarstva, akvakulture i prostornog planiranja te doprinosi očuvanju obalnih i morskih ekosustava Jadrana. Razvoj nacionalnog sustava potpore odlučivanju predstavlja iskorak prema trajnom modelu upravljanja prilagodbom klimatskim promjenama. Integracijom podataka, digitalnih tehnologija i institucionalnih kapaciteta stvaraju se preduvjeti za učinkovitije planiranje mjera prilagodbe i veću otpornost prirodnih ekosustava, a razvijeni koncept može poslužiti kao primjer uspostave sličnih sustava u drugim državama.

Ključne riječi: prilagodba klimatskim promjenama, sustav potpore odlučivanju, morski ekosustavi, klimatski podaci, nacionalna platforma

From Data to Decisions: Developing a National Climate Adaptation Decision Support System

Ivana, Sučić¹, Tatjana, Obućina², Aljoša, Duplić³, Maja, Dobričić Kolić⁴

¹ Ministry of Environmental Protection and Green Transition, Institute for Environment and Nature, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb, ² Ministry of Environmental Protection and Green Transition, Institute for Environment and Nature, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb, ³ Ministry of Environmental Protection and Green Transition, Institute for Environment and Nature, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb, ⁴ Ministry of Environmental Protection and Green Transition, Institute for Environment and Nature, Radnička cesta 80, 10 000 Zagreb

e-mail address: ivana.sucic@mzozt.hr

Climate change requires timely decision-making based on reliable data, interdisciplinary analyses, and effective cross-sectoral cooperation. However, available data, research findings, and technical resources are often fragmented, limiting their use in climate change adaptation planning and implementation. Through the project "Establishment of the National Focal Point for Coordinated Implementation of Climate Change Adaptation Policy," an integrated national system for coordinating and implementing climate change adaptation policy is being established in Croatia. The system aims to integrate data, analytical tools, expert knowledge, and cross-sectoral cooperation into a unified decision-support framework. Its core component is a national information and education platform integrating climate data, future climate scenarios, risk assessments, and digital tools for adaptation planning. The system also includes the development of sectoral indicators, analyses of data and knowledge gaps, urban heat island maps, and a catalogue of Nature-based Solutions. Its added value lies in connecting public authorities, the scientific community, and experts through structured dialogue, capacity-building activities, and knowledge exchange, thereby facilitating the integration of scientific evidence into decision-making processes. This approach is particularly relevant for water management, biodiversity, fisheries, aquaculture, and spatial planning, contributing to the resilience of the Adriatic coastal and marine ecosystems. The development of this national decision support system represents a significant step towards a permanent national climate adaptation governance framework. By integrating data, digital technologies, and institutional capacities, it strengthens adaptation planning, enhances ecosystem resilience, and provides a transferable model for developing similar decision support systems in other countries.

Keywords: climate change adaptation, decision support system, marine ecosystems, climate data, Nature-based Solutions

Ubrzanje termohalinih promjena u Sredozemnom moru: dokazi iz opažanja

Elena, Terzić¹, Ivica, Vilibić^{1,2}

¹ *Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Zagreb, Hrvatska*

² *Institut za jadranske kulture i melioraciju krša, Split, Hrvatska*

e-mail adresa: eterzic@irb.hr

Ubrzanje, a ne postupni linearni odgovor, sve se više prepoznaje kao jedno od ključnih obilježja promjena oceana u antropocenu. Iako opažanja i klimatske simulacije pokazuju da se zagrijavanje potaknuto površinskim procesima prenosi u duboki ocean tijekom desetljeća do stoljeća, poluzatvoreni bazeni poput Sredozemnog mora mogu reagirati znatno brže zbog učinkovitih vertikalnih i lateralnih izmjena. U ovom radu analiziramo sva dostupna dubinska mjerenja termohalinih parametara u Sredozemlju za razdoblje 1950.–2025., uključujući povijesne hidrografske profile, Argo opažanja i regionalna in situ mjerenja. Rezultati pokazuju da se, povrh dugoročnih trendova, ubrzanje zagrijavanja i zaslanjivanja već javlja u velikim dijelovima gornjih 1000–2000 m vodenog stupca. Stope ubrzanja dosežu do 0,3 °C desetljeće⁻² za temperaturu i 0,1 desetljeće⁻² za salinitet, s maksimumima u površinskim slojevima, ali uz koherentne signale koji se protežu u intermedijarne i duboke vode. Najjače površinsko ubrzanje javlja se u nekoliko obalnih i rubnih bazena, uključujući područja važna za predkondicioniranje i formiranje gustih voda. Te su promjene praćene zagrijavanjem i zaslanjivanjem voda koje tonu u duboko Sredozemlje, što upućuje na brz prijenos površinskih i priobalnih anomalija u unutrašnjost oceana. Opaženi signali sugeriraju da sredozemne vodene mase i cirkulacija prolaze kroz brzu termohalinu reorganizaciju pod utjecajem ubrzanog klimatskog forsiranja. Ovo izlaganje opisuje nelinearne termohaline promjene na razini sredozemnih bazena te raspravlja o njihovim implikacijama za formiranje dubokih voda, ventilaciju, biogeokemiju i morske ekosustave. U širem smislu, rezultati ističu Sredozemno more kao prirodni laboratorij za otkrivanje ubrzanih promjena u globalnom oceanu.

Ključne riječi: Sredozemno more, zagrijavanje oceana, zaslanjivanje, ubrzanje, formiranje dubokih voda

Observational evidence for accelerating thermohaline change in the Mediterranean Sea

Elena, Terzić¹, Ivica, Vilibić^{1,2}

¹ Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia

² Institute for Adriatic Crops and Karst Reclamation, Split, 21000, Croatia

e-mail address: eterzic@irb.hr

Acceleration, rather than a gradual linear response, is emerging as a defining feature of ocean change in the Anthropocene. While both observations and climate simulations indicate that surface-forced warming propagates into the deep ocean over decades to centuries, semi-enclosed basins such as the Mediterranean Sea are expected to respond more rapidly due to efficient vertical and lateral exchanges. Here, we analyse a Mediterranean-wide multi-platform observational dataset spanning 1950–2025, combining historical hydrographic profiles, Argo observations and regional in-situ measurements. We show that, superimposed on long-term trends, acceleration in both warming and salinification has already emerged across large parts of the upper 1000–2000 m. Acceleration rates reach up to $0.3\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-2}$ for temperature and 0.1 decade^{-2} for salinity, with maxima concentrated in the near-surface layers but with coherent signals extending into intermediate and deep waters. The strongest near-surface acceleration occurs in several coastal and marginal basins, including regions involved in the preconditioning and formation of dense waters. These changes are accompanied by warming and salinification of waters cascading into the deep Mediterranean, indicating that surface and shelf-driven anomalies can be rapidly transferred into the ocean interior. The observed signals suggest that Mediterranean water masses and circulation may be undergoing a rapid thermohaline reorganization under accelerating climate forcing. This presentation synthesizes basin-scale observational evidence for nonlinear thermohaline change in the Mediterranean Sea and discusses its implications for deep-water formation, ventilation, biogeochemistry and marine ecosystems. More broadly, the results position the Mediterranean as a natural laboratory for detecting and constraining accelerating changes in the global ocean.

Keywords: Mediterranean Sea, ocean warming, salinification, acceleration, deep-water formation

Jadransko more prolazi kroz dosad nezabilježene promjene termohalinih svojstava

Ivica, Vilibić^{1, 2}, Elena, Terzić¹

¹ *Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, 10000 Zagreb, Hrvatska,* ² *Institut za jadranske kulture i melioraciju krša, 21000 Split, Croatia*

e-mail adresa: ivilibic@irb.hr

Jadransko more, kao jedno od ključnih područja nastanka dubokih voda istočnog Mediterana, već se desetljećima intenzivno proučava zbog procesa formiranja vode visoke gustoće. Ti su procesi ponajprije povezani s dubokom konvekcijom u južnom Jadranu te s hlađenjem plitkih voda u sjevernom dijelu mora tijekom zime. Regionalne (Sredozemlje) i jadranske (na kilometarskoj prostornoj skali) klimatske projekcije upućuju na slabljenje intenziteta i učestalosti obaju procesa, što se dovodi u vezu sa slabljenjem bure i posljedičnim slabljenjem jadransko-jonske termohaline cirkulacije. No, suprotno tome, mjerenja iz posljednjih petnaestak godina ukazuju na znatna odstupanja od navedenih projekcija. Izraženo zagrijavanje mora i porast saliniteta, uz istodobno smanjen riječni dotok u područjima formiranja guste vode, doveli su do povećanja temperature i saliniteta same guste vode. Posljedično, dolazi do halinog tonjenja guste vode, što dodatno pridonosi ubrzanom zagrijavanju i zaslanjivanju dubokih slojeva Jadrana. Istodobno, smanjena stratifikacija u području južnog Jadrana dovodi u pitanje postojeće projekcije konvektivnog formiranja guste vode te povećava neodređenost u procjenama budućeg razvoja jadransko-jonske termohaline cirkulacije. Nadalje, nedavna opažanja također ukazuju na pojavu novih fenomena na otvorenom moru, uključujući „površinska slana jezera“, obilježena dugotrajnim maksimumima saliniteta u površinskom sloju mora tijekom ljeta i rane jeseni. Dodatno, povećan salinitet pri dnu u sjevernom Jadranu može omogućiti širenje riječnog pluma rijeke Po na razinu čitavog bazena u uvjetima ekstremnog dotoka u kasno proljeće i ljeto. Takvi događaji mogu potaknuti pojavu opsežnih cvjetanja sluzi (mucilage) tijekom vrhunca turističke sezone, kao što je zabilježeno 2024. godine. U tom kontekstu, ovo izlaganje donosi sažet pregled najnovijih opažajnih dokaza o brzim termohalnim promjenama u Jadranskom moru te razmatra njihov moguć utjecaj na biogeokemijske procese, morske ekosustave, ribarstvo, turizam i druge djelatnosti ovisne o moru.

Ključne riječi: Jadran, temperatura, salinitet, gusta voda, stratifikacija

The Adriatic Sea undergoes unprecedented changes in thermohaline properties

Ivica, Vilibić^{1, 2}, Elena, Terzić¹

¹ *Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, 10000, Croatia,* ² *Institute for Adriatic Crops and Karst Reclamation, Split, 21000, Croatia*

e-mail address: ivilibic@irb.hr

The Adriatic Sea, a key source region of Eastern Mediterranean deep waters, has long been extensively studied for its dense water formation processes, driven primarily by deep convection in the southern Adriatic and shelf cooling in the northern Adriatic. Regional (Mediterranean) and Adriatic (kilometer-scale) climate projections suggest a decline in the intensity and frequency of both processes, largely associated with reduced bora wind activity and consequent impacts on the Adriatic-Ionian thermohaline circulation. However, observations from the past 15 years reveal substantial deviations from these expectations. Pronounced warming and salinification, together with reduced river discharge in dense-water formation areas, have shifted dense-water properties toward higher temperatures and salinities. These changes favour haline-driven cascading and contribute to the accelerated warming and salinification of the deep Adriatic. At the same time, reduced stratification in the southern Adriatic convection area challenges existing projections of dense water formation and increases uncertainty regarding the future of Adriatic–Ionian thermohaline circulation. Recent observations have also revealed new phenomena in the open Adriatic, including surface saline lakes, characterized by persistent salinity maxima in the upper ocean during summer and early autumn. In addition, increased near-bottom salinity in the northern Adriatic may facilitate the basin-wide spreading of the Po River plume under conditions of extreme river discharge in late spring and summer. Such events may contribute to widespread mucilage events during the peak tourist season, as observed in 2024. In this context, the presentation synthesizes recent observational evidence of rapid thermohaline change in the Adriatic Sea and examines its implications for biogeochemistry and marine ecosystems, fisheries, tourism and other marine-dependent sectors.

Keywords: Adriatic Sea, temperature, salinity, dense water, near-surface stratification

Plimni toplinski tokovi u prijelaznim lagunama reproducirani pomoću modela kutije

Paolo, Vavasori^{1,2}, Davide, Bonaldo¹, Davide, Zanchettin², Federica, Braga¹, Gianmarco, Scarpa¹, Debora, Bellafigliore¹, Christian, Ferrarin¹, Alessandro, Bergamasco¹

¹CNR-ISMAR, Venice, Italy; ²Ca' Foscari University of Venice, Italy

e-mail adresa: paolovavasori@cnr.it, paolo.vavasori@unive.it

Prijelazni sustavi kopno-more inherentno su složeni, obilježeni višestrukim povratnim vezama, nelinearnim interakcijama i izraženom vremenskom varijabilnošću, što otežava razumijevanje procesa u njima kao i mogućnosti prognoze njihovog stanja. Ova studija predstavlja pojednostavljeni model kutije osmišljen za kvantifikaciju toplinskih tokova i termalne dinamike u takvim okolišima, gdje su tokovi pokretani plimotvornom silom. Tretirajući sustav laguna-more kao niz međusobno povezanih kutija, model opisuje ključne prostorne i fizičke procese, te razdvaja različite faktore forsiranja i prostornih promjena. Vjerodostojnost modela je osnažena korištenjem ansambla simulacija. Model pretpostavlja prostornu homogenost i potpuno miješanje unutar prostorne domene. Izmjena topline na površini uključuje kratkovalno i dugovalno zračenje, te turbulentne latentne i senzibilne toplinske tokove, dok je hidrodinamičko forsiranje predstavljeno sinusoidalnim plimnim oscilacijama i riječnim unosom slatke vode. Primjena na Venecijansku lagunu demonstrira složenost razmatranog sustava, a rezultati opisuju glavne značajke trenutnih klimatskih uvjeta i potencijalne varijabilnosti u budućoj klimi, naglašavajući osjetljivost lagune na klimatsko forsiranje. Procjena temperaturnih ekstrema i anomalija otkriva kako izmjena vode i geometrija bazena mogu pojačati ili prigušiti toplinske odgovore u odnosu na promatrane trendove obalnog zagrijavanja. Antropogene modifikacije također su uključene u model, uz procjenu njihovog utjecaja na bilancu topline cijelog sustava. Sveukupno, predloženi okvir pruža vjerodostojni temelj kao potporu sveobuhvatne procjenu dugoročnih evolucija obalnih sustava u eri klimatskih promjena i antropocena.

Ključne riječi: Toplinski tokovi, obalna laguna, model kutije, tbilanca topline, klimatske promjene

A Tidally Forced Box Model for Climate-Driven Heat Fluxes in Transitional Lagoons

Paolo, Vavasori^{1,2}, Davide, Bonaldo¹, Davide, Zanchettin², Federica, Braga¹, Gianmarco, Scarpa¹, Debora, Bellafiore¹, Christian, Ferrarin¹, Alessandro, Bergamasco¹

¹CNR-ISMAR, Venice, Italy; ²Ca' Foscari University of Venice, Italy

e-mail address: paolovavasori@cnr.it, paolo.vavasori@unive.it

Transitional land–sea systems are inherently complex, characterized by multiple feedbacks, nonlinear interactions, and strong temporal variability, which hinder process understanding and predictive capability. This study presents a simplified tidally forced thermal box model designed to quantify heat fluxes and thermal dynamics in such environments. By treating the lagoon-sea system as a series of interconnected boxes, the model represents key geometrical and physical processes through established relationships. This zero-dimensional approach utilizes spatial aggregation to disentangle the roles of different forcing factors and geometrical constraints, enabling the efficient characterization of diverse system behaviors via ensemble simulations. The model assumes spatial homogeneity and complete mixing within a prescribed geometric domain. Surface heat exchange is resolved through shortwave radiation, longwave emission, and turbulent latent and sensible heat fluxes, while hydrodynamic forcing is represented by sinusoidal tidal oscillations and riverine freshwater input. Application to the Venice Lagoon demonstrates the complexity of the system considered and results capture the main features of present conditions and potential future variability, highlighting the sensitivity of lagoon thermal regimes to climate-driven forcing. Evaluation of temperature extremes and anomalies reveals how hydrodynamic exchange and basin geometry can either amplify or dampen thermal responses relative to observed coastal warming trends. Anthropogenic modifications are also incorporated, providing a first-order assessment of their influence on system-scale heat budgets. Overall, the proposed framework provides a robust baseline supporting the evaluation of long-term evolution of coastal systems, also in response to anthropic interventions.

Key words: Heat fluxes, Coastal lagoon, Box model, Thermal regime, Climate change

Istraživanje prošlosti i budućnosti hidrodinamike jezera Zmajevsko oko mjerjenjima, terenskim eksperimentima i modeliranjem

Iva, Dominović Novković¹, Marija, Marguš¹, Tatjana, Bakran-Petricioli², Donat, Petricioli³, Georgiy, Kirillin⁴, Peter, Robins⁵, Irena, Ciglenečki-Jušić¹, Ivica, Vilibić^{1,6}

¹*Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Zagreb, Hrvatska,* ²*Sveučilište u Zagrebu, Biološki odsjek, Zagreb, Hrvatska,* ³*D.I.I.V. d.o.o. - ekologija mora, voda i podzemlja, Sali, Hrvatska,* ⁴*Odsjek za ekohidrologiju i biogeokemiju, Institut Leibniz za slatkovodnu ekologiju i kopneno ribarstvo, Berlin, Njemačka,* ⁵*Odsjek za znanost o moru, Fakultet za znanost inženjerstvo, Sveučilište u Bangoru, Bangor, Ujedinjeno Kraljevstvo,* ⁶*Institut za jadranske kulture i melioraciju krša, Split, Hrvatska*

e-mail adresa: idominov@irb.hr

Jezero Zmajevsko oko je eutrofno morsko jezero koje je pretežno meromiktičko, iako povremeno dolazi do naglih događaja miješanja što uzrokuje potpunu anoksiju vodenog stupca. Analiza dugoročnih fizičkokemijskih podataka prikupljenih sezonski između 1996. i 2022. godine pokazala je da halino raslojavanje snažno kontrolira vertikalno miješanje jezera što je usko povezano s režimom oborine. Ove rezultate potvrđuju i najnovija mjerenja iz 2024. i 2025. godine koja ukazuju na to da je ispodprosječna oborina u 2024. i 2025. godini dovela do slabe stratifikacije tijekom godine te miješanja vodenog stupca u jesen 2025. godine. Između 2021. i 2023. godine istraživana je podzemna povezanost jezera s morem kroz krške stijene. Identificirane su dvije podvodne ulazne točke na kojima voda ulazi u jezero kao mješavina morske, jezerske i slatke vode. Ta izmjena utječe na temperaturu vode uz rubove jezera te može unositi nutrijente u sustav. Izmjena vode uglavnom je kontrolirana plimnim oscilacijama čiji signal u jezero dolazi prigušen i s vremenskim pomakom od približno tri sata. Tijekom godina istraživanja primijećeno je jače prigušivanje plimnih oscilacija za što uzrok još nije utvrđen. Hidrodinamički model jezera razvijen je korištenjem Delft3D FM modela koji je forsiran podacima reanalize ERA5. Model je uspješno reproducirao događaj miješanja zabilježen 2021. godine te očuvao raslojavanje tijekom razdoblja ljeto-jesen 2023. godine. Međutim, model precjenjuje miješanje uzrokovano vjetrom i podcjenjuje dotok slatke vode, što ukazuje na ograničenja atmosferskih podataka grube prostorne rezolucije. Stoga je za poboljšanje modela i procjenu klimatski uvjetovanih promjena nužno nastaviti dugoročna mjerenja fizičkokemijskih svojstava u visokoj prostornoj i vremenskoj rezoluciji. Ovaj poster dopunjuje dosadašnja znanja o dugoročnim promjenama fizičko-kemijskih podataka te predstavlja nastavak istraživanja predstavljenog na prethodnom izdanju konferencije.

Ključne riječi: eutrofno morsko jezero, anoksija, fizičkokemijska svojstva, Delft3D

Understanding Zmajevsko lake hydrodynamics through monitoring, field experiments and modelling: Past and present

Iva, Dominović Novković¹, Marija, Marguš¹, Tatjana, Bakran-Petricoli², Donat, Petricoli³, Georgiy, Kirillin⁴, Peter Robins⁵, Irena Ciglenečki-Jušić¹, Ivica Vilibić^{1,6}

¹*Ruder Bošković Institute, Division for Marine and Environmental Research, Zagreb, Croatia,* ²*University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Biology, Zagreb, Croatia,* ³*D.I.I.V. Ltd. for Marine, Freshwater and Subterranean Ecology, Sali, Croatia,* ⁴*Department of Ecohydrology and Biogeochemistry, Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin, Germany,* ⁵*School of Ocean Sciences, College of Science & Engineering, Bangor University, Bangor, UK,* ⁶*Institute for Adriatic Crops and Karst Reclamation, Split, Croatia*

e-mail address: idominov@irb.hr

Zmajevsko Lake is a eutrophic marine lake that is predominantly meromictic, although abrupt mixing events occasionally occur, causing complete anoxia in the water column. Analysis of long-term physicochemical data collected seasonally between 1996 and 2022 showed that haline stratification strongly controls vertical mixing in the lake and is closely related to the precipitation regime. Measurements from 2024 and 2025 confirm this by linking below-average precipitation to weakened stratification and, consequently, increased vertical mixing in the lake in autumn of 2025. Between 2021 and 2023, the underground connection between the lake and the sea through karstic rocks was investigated. Two submerged inflow points were identified, where water enters the lake as a mixture of seawater, lake water, and freshwater. This exchange affects temperature near the lake boundaries and may transport nutrients into the system. Water exchange is mainly controlled by tidal oscillations, whose signal reaches the lake attenuated and delayed by approximately three hours. In recent years, stronger attenuation of tidal oscillations was observed, although its cause has not yet been determined. A hydrodynamic model of the lake was developed using Delft3D FM forced with ERA5 reanalysis data. The model successfully reproduced the mixing event observed in 2021 and preserved stratification during the summer–autumn period of 2023. However, it overestimates wind-driven mixing and underestimates freshwater inflow, highlighting the limitations of using coarse-resolution atmospheric forcing data for a small lake. Continued long-term monitoring of physicochemical properties at high spatial and temporal resolution is essential for improving model performance and assessing climate-driven changes. This poster complements existing knowledge on long-term physicochemical variability and presents a continuation of the research introduced at the previous edition of the conference.

Keywords: eutrophic marine lake, anoxia, physicochemical properties, Delft3D

Izotopni potpis stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u stratificiranom morskom jezeru

Marija, Marguš¹, Iva, Dominović Novković¹, Georgiy, Kirilin², Irena, Ciglencečki¹

¹*Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska,* ²*Leibnizov institut za ekologiju slatkih voda i unutarnje ribarstvo, Odjel za ekohidrologiju i biogeokemiju, Berlin, Njemačka*

e-mail adresa: mmargus@irb.hr

Vrijednost stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) i vodika ($\delta^2\text{H}$) korišteni su za istraživanje hidroloških procesa u stratificiranom i euksiničnom Rogozničkom jezeru – Zmajevom oku. Varijacije fizikalno-kemijskih svojstva reguliraju miješanje vodenih masa, dok ograničena izmjena s atmosferom, okolnim morem i podzemnim vodama stvara specifičan izotopni potpis. Profili vodenog stupca iz listopada 2023. i srpnja 2024. pokazuju porast vrijednosti izotopa kisika i vodika s dubinom. Vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ rastu od približno 1,15 – 1,20 ‰ u epilimniju do 1,67 – 1,71 ‰ na dubini od 10–12 m, dok $\delta^2\text{H}$ raste od 3,8 – 4,2 ‰ do 6,7 – 7,6 ‰, pri čemu su više vrijednosti zabilježe u listopadu 2023.. U oba razdoblja $\delta^{18}\text{O}$ se konzervativno mijenjao sa salinitetom, uz jaču pozitivnu korelaciju između $\delta^{18}\text{O}$ i S zabilježenu u listopadu 2023. ($R^2 \approx 0,85$) nego u srpnju 2024. ($R^2 \approx 0,34$), što upućuje na jaču i stabilniju stratifikaciju vodenog stupca tijekom ljeta te djelomično vertikalno miješanje u jesen. Odnos $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ definira lokalnu evaporacijsku liniju s nagibima od $\approx 6,6$ ljeti do $\approx 7,6$ u jesen. Obje su vrijednosti niže od Globalne meteorske vodene linije, što upućuje na izotopnu frakcionaciju uzrokovanu evaporacijom. Vrijednosti deuterijeva viška dosljedno su negativne ($\bar{x} \approx -5,75$ ‰), što je u skladu s uočenim porastom $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ s dubinom te upućuje na utjecaj evaporacije na vodeni stupac. Ljeti vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ pokazuju manji raspon i izraženiji utjecaj evaporacije, dok jesenski profil karakterizira veći raspon vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ i nešto strmiji nagib, što upućuje na slabiji utjecaj evaporacije i djelomično miješanje vodenih masa. Rezultati pokazuju da su vertikalni gradijenti u jezeru Zmajevo oko prvenstveno kontrolirani stratifikacijom i evaporacijom, uz ograničen utjecaj vanjskih dotoka vode. Stabilni izotopi $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ pokazali su se korisnim pokazateljima hidrološke strukture vodenog stupca i procesa koji utječu na biogeokemijske u obalnim stratificiranim vodenim tijelima.

Ključne riječi: stabilni izotopi vode, $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$, stratificirano morsko jezero, evaporacija, miješanje vodenog stupca

Isotopic Signatures of Stable $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ Isotopes in a Stratified Marine Lake

Marija, Marguš¹, Iva, Dominović Novković¹, Georgiy, Kirilin², Irena, Ciglencečki¹

¹*Ruđer Bošković Institute, Division for Marine and Environmental Research, Zagreb, Croatia,*

²*Department of Ecohydrology and Biogeochemistry, Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin, Germany*

e-mail address: mmargus@irb.hr

Stable oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and hydrogen ($\delta^2\text{H}$) isotopes values were used to investigate hydrological processes in the stratified and euxinic Rogoznica Lake – Zmajevsko oko. Variations in physicochemical properties regulate water-mass mixing, while limited exchange with the atmosphere, surrounding sea, and groundwater contributes to a distinct isotopic signature. Water-column profiles from October 2023 and July 2024 showed increasing $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values with depth. $\delta^{18}\text{O}$ increased from approximately 1.15–1.20‰ in the epilimnion to 1.67–1.71‰ at 10–12 m, while $\delta^2\text{H}$ increased from 3.8–4.2‰ to 6.7–7.6‰, with higher values recorded in October 2023. In both periods, $\delta^{18}\text{O}$ varied conservatively with salinity, with a stronger positive correlation observed in October 2023 ($R^2 \approx 0.85$) than in July 2024 ($R^2 \approx 0.34$). This suggests stronger and more stable summer stratification and partial vertical mixing in autumn. The $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ relationship defined local evaporation lines with slopes of approximately 6.6 in summer and 7.6 in autumn. Both were lower than the Global Meteoric Water Line, indicating isotopic fractionation associated with evaporation. Deuterium excess values were consistently negative ($\bar{x} \approx -5.75\text{‰}$), further supporting the influence of evaporation on the water column. Summer profiles showed a narrower isotopic range and stronger evaporative influence, whereas the autumn profile exhibited a wider range and a slightly steeper slope, indicating weaker evaporation and partial water-mass mixing. The results indicate that vertical gradients in Zmajevsko oko lake are primarily controlled by stratification and evaporation, with limited influence from external water inputs. Stable $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ isotopes provide useful indicators of water-column hydrological structure and processes affecting biogeochemical dynamics in coastal stratified water bodies.

Keywords: stable water isotopes, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$, stratified marine lake, evaporation, water column mixing

Reducirane sumporne specije kao indikatori redoks stanja u Rogozničkom jezeru – Zmajevu oko

Nikola, Zdolšek¹, Iva, Dominović-Novković¹, Luka, Andrijanić¹, Rajna Marija, Jozić¹, Marija, Marguš¹, Irena, Ciglencečki¹

¹Laboratorij za fiziku mora i kemiju vodenih sustava, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb, Hrvatska

e-mail adresa: nizdolsek@irb.hr

Rogozničko jezero (RJ; Zmajevu oko) je eutrofno morsko jezero koje karakterizira sezonski izraženo raslojavanje vodenih slojeva uslijed termohalinih razlika. Za vrijeme raslojavanja, vodeni stupac je podijeljen na gornji oksični i donji anoksični sloj, koje dijeli kemoklina. Anoksični sloj obogaćen je reduciranim sumpornim specijama (RSS) koje su indikatori redoks stanja vodenog stupca. U anoksičnim uvjetima prevladava slobodan sulfid (HS^-), dok je područje kemokline okarakterizirano prisutnošću elementarnog sumpora (S^0), polisulfida (S_x^{2-}) i tiosulfata ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$). Monitoring RSS u vodenom stupcu RJ provodi se od 1994. g. elektroanalitičkim metodama razvijenim unutar istraživačke grupe. U razdoblju 1996.–2020. zabilježene su promjene u poziciji kemokline. U periodu od 1996. do 2020. kemoklina se pomicala prema površini, s trendom od 2.3m/10 godina uz četiri anoksična holomiktična događaja (1997, 2011, 2016, 2020). Pomicanje kemokline prema površini posljedica je jačanja raslojavanja vodenog stupca, deoksigenacije i povećanja anoksičnog volumena uz akumulaciju RSS. U 2025. kemoklina je pozicionirana u pridnenom sloju vodenog stupca (oko 10 m), a RSS dostiže koncentraciju od 10^{-4} M. Ovakvo stanje direktna je posljedica meteoroloških prilika, odnosno male količine oborina u 2025. godini. Najnovija istraživanja provedena u siječnju i svibnju 2026. pokazuju položaj kemokline na dubini od 6 m odnosno 7 m, kad je u anoksičnom sloju u svibnju 2026. zabilježena koncentracija RSS od $2 \cdot 10^{-5}$ M na 7 m, i $1.9 \cdot 10^{-4}$ M na 11 m, ukazujući na akumulaciju RSS. Promjene u položaju kemokline kao i varijabilnost koncentracija RSS jasno pokazuju da RJ vrlo brzo reagira na klimatske odnosno meteorološke promjene. Ovakva dinamičnost sustava naglašava potrebu za kontinuiranim praćenjem kako bi se bolje razumjeli procesi koji upravljaju razvojem anoksije i biogeokemijskim ciklusom sumpora.

Ovo istraživanje podržano je projektom HRZZ-a IP-2024-05-2377-ISO-ZOKO i AdriaClimateRisk PK.3.4.17.001.

Ključne riječi: kemoklina, stratifikacija, anoksija

Reduced sulfur species as indicators of water-column redox conditions in Rogoznica Lake-Dragon's Eye

Nikola, Zdolšek¹, Iva, Dominović-Novković¹, Luka, Andrijanić¹, Rajna Marija, Jozić¹, Marija, Marguš¹, Irena, Ciglencečki¹

¹ *Laboratory for physical oceanography and chemistry of aquatic systems, Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska*

e-mail address: nizdolsek@irb.hr

Rogoznica Lake (RL; Dragon's Eye) is a eutrophic marine lake characterized by pronounced seasonal stratification of the water column caused by thermohaline differences. During stratification, the water column is divided into an upper oxic layer and a lower anoxic layer, separated by a chemocline. The anoxic layer is enriched with reduced sulfur species (RSS), typically reaching millimolar concentrations, which serve as indicators of the redox state of the water column. Under anoxic conditions, free sulfide (HS^-) predominates, while the chemocline is characterized by the presence of elemental sulfur (S^0), polysulfides (S_x^{2-}) and thiosulfate ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$). Monitoring of RSS in the RL water column has been carried out since 1994 using electroanalytical methods developed by our research group. Between 1996 and 2020, significant changes in the position of the chemocline were observed. In period from 1996 to 2020 the chemocline shifted shallower depths with a trend of 2.3m/10 years, even though four holomictic events occurred during this period (1997, 2011, 2016 and 2020). This upward migration of the chemocline resulted from water-column stratification, deoxygenation and expansion of the anoxic volume accompanied by the accumulation of RSS. In 2025 the chemocline shifted deeper in water column, while the RSS concentration reached 10^{-4} M. This state was a direct consequence of meteorological conditions, specifically the low precipitation recorded in 2025. The most recent investigations conducted in January and May 2026 found the chemocline at depths of 6 m and 7 m, respectively. In May 2026, an increase in RSS concentrations was also observed within the anoxic layer, reaching $2 \cdot 10^{-5}$ M at 7 m and $1.9 \cdot 10^{-4}$ M at 11 m depth. Changes in the position of the chemocline, together with the variability of RSS concentrations, clearly demonstrate that RL responds rapidly to climatic and meteorological changes. Such systems highlight the need for continuous monitoring to improve our understanding of the processes governing the development of anoxia and the biogeochemical sulfur cycle.

This study was supported by the HRZZ project IP-2024-05-2377-ISO-ZOKO and AdriaClimateRisk PK.3.4.17.001.

Keywords: chemocline, stratification, anoxic conditions

Sezonska dinamika zadržavanja i iznošenja organske tvari u obalnoj močvari Palud-Palù

Neven, Iveša¹, Irena, Ciglencečki², Rajna Jozić², Andrea, Budiša¹, Gioconda, Millotti¹
Lada, Jagatić¹, Andreja Kokorović³, Paolo, Paliaga¹

¹ Fakultet prirodnih znanosti u Puli, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Hrvatska, ² Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska, ³ Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Horvatovac 102a 10 000 Zagreb, Hrvatska

e-mail adresa: neven.ivesa@unipu.hr

Obalne močvare predstavljaju aktivne prijelazne vodene sustave u kojima hidrodinamika snažno regulira transport, transformaciju i zadržavanje organske tvari. Ovaj rad obuhvaća sezonsku razmjenu organske tvari (OT) između obalne močvare Palud–Palù i Jadranskog mora od ljeta do jeseni 2025. uz preliminarna opažanja tijekom zime i proljeća 2026. Mjerenja razine vode i brzine strujanja provedena su u poveznom kanalu tijekom plime i oseke, što je omogućilo izračun izmjene vode i smjera strujanja. Analizirani su otopljeni (DOC), čestični (POC) i ukupni organski ugljik (TOC) u vodenom stupcu i sedimentu transportirani suspendirani materijal. DOC pokazuje jasan prostorni porast od mora prema unutrašnjosti močvare, s najvišim vrijednostima na najudaljenijoj postaji, što upućuje na intenzivno zadržavanje i preradu OT. Povišene vrijednosti TOC-a u sedimentu, posebno u blizini ulaza odražavaju taloženje svježeg OT unesene tijekom plime. Vrijednosti DOC-a i POC-a višestruko su više od prosječnih vrijednosti priobalnog sjevernog Jadrana, potvrđujući intenzivnu akumulaciju i transformaciju OT unutar sustava. Hidrodinamika pokazuje izraženu sezonalnost u razmjeni materijala. Ljeti je izmjena kontinuirano dvosmjerna uz pojačani transport OT, dok je u jesen, osobito tijekom oseke, zabilježen povećani izvoz močvarnog detritusa, uključujući ostatke trstike, kopnenog bilja i drvnog materijala. Kraće olujne epizode dodatno su doprinosile unosu crvenih i smeđih makroalgi iz mora u močvaru, dok zimu obilježava smanjena bazalna izmjena uz povremene epizode intenzivnog eksporta nakon obilnih kiša. Rezultati potvrđuju da Palud funkcionira kao pulsno regulirani obalni močvarni sustav u kojem sezonska hidrodinamika kontrolira količinu, sastav i smjer transporta OT između močvare i mora ali istovremeno omogućuje njezino dugotrajno zadržavanje i akumulaciju unutar sedimenta, što može imati važne posljedice za biogeokemijske procese, kvalitetu sedimenta i buduće funkcioniranje močvarnog ekosustava.

Ključne riječi: obalna močvara, organska tvar, plimna izmjena, transport i akumulacija materijala

Seasonal shifts of organic matter retention and export in the Palud-Palù coastal marsh

Neven, Iveša¹, Irena, Ciglencečki², Rajna Jozić², Andrea, Budiša¹, Gioconda, Millotti¹
Lada, Jagatić¹, Andreja, Kokorović³, Paolo, Paliaga¹

¹ Faculty of Natural Sciences, University Jurja Dobrile of Pula, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Croatia, ² Division for Marine and Environmental Research, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska, ³ Faculty of Science, Department of Biology, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia

e-mail address: neven.ivesa@unipu.hr

Coastal wetlands represent transitional aquatic systems in which hydrodynamics regulate the transport, transformation, of organic matter. This study examines the seasonal exchange of organic matter (OM) between the Palud–Palù coastal wetland and the Adriatic Sea from summer to autumn 2025, with observations during winter and spring 2026. Water level and current velocity measurements were conducted in the connecting channel during tidal inflow and outflow, enabling calculation of water exchange and flow direction. Dissolved (DOC), particulate (POC), and total organic carbon (TOC) were analyzed in the water column and sediment together with transported suspended material. DOC showed a spatial increase from the sea toward the inner wetland, with the highest values at the farthest station, indicating retention and processing of OM. Elevated TOC values in the sediment near the inlet reflect deposition of OM during high tide. DOC and POC values were several times higher than average values for the northern Adriatic coastal area, confirming accumulation and transformation of OM within the system. Hydrodynamics exhibited seasonality in material exchange. During summer, exchange was continuously bidirectional with enhanced OM transport, whereas autumn, especially during ebb tide, was characterized by increased export of wetland detritus, including reed remains, terrestrial vegetation, and woody material. Storm events contributed to the import of red and brown macroalgae from the sea into the wetland, while winter was characterized by reduced exchange with occasional episodes of intense export following heavy rainfall. Results confirm that Palud functions as a pulse-regulated coastal wetland system in which seasonal hydrodynamics control the quantity, composition, and direction of OM transport between wetland and the sea, while enabling retention and accumulation within the sediment, potentially affecting biogeochemical processes, sediment quality, and ecosystem functioning.

Keywords: coastal marsh, organic matter, tidal exchange, material transport and accumulation

Razvoj metode za analizu omjera stabilnih izotopa ^{15}N i ^{13}C u okolišnim uzorcima

Jelena, Dautović¹, Irena, Ciglencić¹, Luka, Andrijanić¹, Nikola, Zdolšek¹, Rajna Marija, Jozić¹

¹*Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb*

e-mail adresa: jdautov@irb.hr

Elementna analiza – masena spektrometrija izotopnih omjera, engl. EA-IRMS (vario PYRO cube - precisION, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany) vrlo je osjetljiva, moćna i široko primjenjiva tehnika koja se koristi za istovremeno određivanje koncentracija ukupnog dušika (N) i ugljika (C) (*bulk*) te izotopnog sastava stabilnih izotopa dušika i ugljika u različitim uzorcima iz okoliša s primarnom svrhom određivanja porijekla prisutnog materijala, kao i praćenja biogeokemijskih procesa u okolišu. Validacija metode koja uključuje selektivnost, točnost, preciznost, ponovljivost (mjerenja, pripreve standarda, intermedijarna preciznost), linearnost te robusnost provedena je na standardima certificiranim za koncentraciju i za izotopne omjere kao i na realnim morskim uzorcima. LOD i LOQ određeni su za analizu oba elementa. Najveći izazov kod analiza uzoraka iz morskog okoliša je prisutnost kloridnih iona kao i varijabilne koncentracije N i C. Testirani su različiti pristupi kako bi se optimirao signal u uvjetima niskog sadržaja N te visokog sadržaja C. Metoda je u okviru validacije preliminarno testirana na relativno malom broju uzoraka iz različitog morskog okoliša: 1) čisto more na području postaje Stončica kod Visa; 2) prijelazne vode Krke, Neretve, Jadro, Zrmanje, Omble; 3) priobalne vode Neretvanskog kanala, Kaštelanskog zaljeva, Paga; 4) morski uzorci s profila rijeke Po uključujući mukozne agregate; 5) eutrofni uzorci Rogozničkog jezera, što je poslužilo za optimizaciju protokola za pripremu i analizu uzoraka u svrhu pouzdanog određivanja koncentracija N i C te $\delta^{15}\text{N}$ i $\delta^{13}\text{C}$ u složenim uzorcima iz morskog okoliša.

Ključne riječi: elementna analiza, masena spektrometrija izotopnih omjera, validacija metode, morski uzorci

Method development for the analysis of stable isotope ratios ^{15}N and ^{13}C in environmental samples

Jelena, Dautović¹, Irena, Ciglencečki¹, Luka, Andrijanić¹, Nikola, Zdolšek¹, Rajna Marija, Jozić¹

¹*Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, Zagreb*

e-mail address: jdautov@irb.hr

Elemental analysis – isotope ratio mass spectrometry, EA-IRMS (vario PYRO cube - precisION, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany) is a highly sensitive, powerful and widely applicable technique used to simultaneously determine nitrogen and carbon concentrations (*bulk*) and ^{15}N and carbon ^{13}C stable isotope ratios in different environmental samples in order to determine the origin of material present as well as to follow biogeochemical processes in the environment. Method validation including selectivity, accuracy, precision, repeatability (measurements, standard preparation, intermediary precision), linearity and robustness was carried out on standards certified for both concentrations and isotope ratios as well as on real samples. LOD and LOQ have been determined for both elements. Biggest challenge when analysing samples from marine environment is the presence of chloride ions as well as variable N and C concentrations. Different approaches have been tested to optimize the signal for samples with low nitrogen and high carbon content. During validation the method has been tested on a relatively small number of real marine samples: 1) pristine seawater from Stončica, Vis; 2) transitional waters of Krka, Neretva, Jadro, Zrmanja, Ombla; 3) coastal water of Neretva Channel, Kaštela Bay and Pag; 4) Po river transect including mucose aggregates; 5) eutrophic samples from Rogoznica Lake all of which served to optimize the protocol for preparation and analysis of samples in order to achieve reliable determination of both concentrations and isotope ratios in complex samples from the marine environment.

Keywords: elemental analysis, isotope ratio mass spectrometry, method validation, marine samples

Što nam deformacije vrsta roda *Peneroplis* (Foraminifera) govore o zagrijavanju sjevernog Jadrana (otok Pag)?

Lovro, Suić¹, Vlasta, Ćosović¹, Igor, Felja¹

¹Geološki odsjek, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac 102b, Zagreb, Hrvatska;

e-mail adresa: lovro.suic@student.pmf.hr

Foraminifere, kao ključna komponenta morskih ekosustava, izrazito su osjetljive na prirodne i antropogene promjene u okolišu. Aktualne klimatske promjene utječu na Jadransko more, pri čemu foraminifere pokazuju specifične oblike prilagodbe na izmijenjene okolišne uvjete. U ovom radu predstavljamo rezultate istraživanja endosimbiotskih vrsta *Peneroplis planatus* i *P. pertusus*, prepoznatih i kao lesepsijski kolonizatori rasprostranjeni u istočnom Sredozemlju. Pet uzoraka površinskog sedimenta prikupljeno je ručno u srpnju 2023. godine u tri uvale na otoku Pagu, na dubinama od 3 m do 8 m. Uzorci su odmah prosijani i tretirani bojom (Rose Bengal) prema FOMIBO protokolu. Mikropaleontološke analize otkrivaju: 1) živuće jedinke su vrlo rijetke, 2) u zajednicama dominiraju foraminifere s imperforatnom stijenkom, pri čemu rod *Peneroplis* sudjeluje s udjelom od 18 % do 58 %. Značajan je udio deformiranih jedinki (10 % – 40 %), a promjene uključuju srastanje kućica odraslih jedinki, nepravilnosti u veličini klijetki tijekom različitih faza ontogeneze te nagle promjene smjera rasta. Iako je unutarvrstna varijabilnost kod ovog roda dokumentirana na mnogim mjestima, ovako visoka učestalost abnormalnosti, kod jedinki obiju generacija, korelira se s povišenim temperaturama mora. Prema dostupnim podacima peneroplide su u Jadranu nisko zastupljene, uz izuzetak značajne populacije na grebenu koralja *Cladocora caespitosa* u Velikom jezeru (otok Mljet). Njihova brojnost u ovom istraživanju, u kombinaciji s visokom stopom deformacija kućica, pruža uvjerljive dokaze o zagrijavanju morske vode. Njihovo rasprostranjivanje uzrokuje preoblikovanje bentičkih zajednica, pri čemu autohtone vrste gube na brojnosti i raznolikosti, što dovodi i do značajnih promjena u teksturi sedimenta. Ovo istraživanje je studentski projekt za Rektorovu nagradu 2024. godine.

Ključne riječi: *Peneroplis*, lesepsijski kolonizatori, deformacija, plitkomorski okoliš, Jadran.

What do *Peneroplis* (Foraminifera) test deformations reveal about seawater warming in the Northern Adriatic (Pag Is.)?

Lovro Suić¹, Vlasta Ćosović¹, Igor Felja¹

¹*Department of Geology, University of Zagreb Faculty of Science, Horvatovac 102b, Zagreb, Croatia*

e-mail address: lovro.suic@student.pmf.hr

Foraminifera, as vital components of marine ecosystems, are highly sensitive to both natural and anthropogenic environmental changes. As climate change increasingly impacts the Adriatic, foraminifera exhibit species-specific responses to these changing conditions. This study investigates symbiont-bearing *Peneroplis planatus* and *P. pertusus*, known as Lessepsian colonizers widely distributed across the Eastern Mediterranean. In July 2023, five surface sediment samples were hand-collected from three bays on Pag Is., ranging in depth from 3 m to 8 m, sieved immediately, and treated with Rose Bengal according to the FOMIBO procedure. Micropaleontological analyses reveal: i) living specimens are rare, ii) the total assemblages are dominated by porcelaneous taxa, with *Peneroplis* species comprising 18% to 58%. Notably, a high proportion (10 - 40%) of *Peneroplis* tests exhibit morphological deformities, including adult test fusion, irregular chamber size, disordered ontogenetic arrangement, and abrupt changes in growth direction. While intraspecific variability is a known trait of this group, such a high incidence of abnormalities, observed in both generations and more frequently in *P. planatus*, correlates with elevated water temperatures. Published data confirms that peneroplids have been sparse in the Adriatic, with significant abundances limited to the *Cladocora* reefs of Veliko Jezero (Mljet Is.). Their current proliferation and high deformation rates provide compelling evidence of seawater warming. Furthermore, this invasion is restructuring the benthic community; indigenous species are being outnumbered, leading to a measurable reduction in biodiversity and significant alterations to sediment texture. This study was conducted as a student project for the Rector's Award 2024.

Keywords: *Peneroplis*, Lessepsian, deformation, shallow-water, Adriatic

Dinamika kokolitoforida u sjevernom Jadranu u uvjetima kontinuiranog zagrijavanja i promjena okoliša

Lara, Vilim¹, Janja, Francé², Petra, Slavinec^{2,3}, Edward A.D., Mitchell⁴, Patricija, Mozetič²

¹Rue Paul Bouvier 13, 2000 Neuchâtel, Switzerland, ²National Institute of Biology, Marine Biology Station Piran, Fornače 41, 6330 Piran, Slovenia, ³University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenia, ⁴Université de Neuchâtel, Faculté des sciences, Neuchâtel, Switzerland

e-mail address: patricija.mozetic@nib.si

Klimatske promjene u sjevernom Jadranu (SJ), uključujući porast temperature mora i promjene hidroloških režima, dovele su do promjena u dostupnosti hranjivih tvari u priobalnim vodama te promjena fitoplanktona. Prethodna istraživanja pokazala su kontinuirani pad biomase fitoplanktona, promjene u veličini te manje predvidivu fenologiju zajednica kojima dominiraju dijatomeje. Nasuprot tome, dinamika kokolitoforida ostala je slabo istražena unatoč važnoj ulozi ovih kalcificirajućih fitoplanktonskih organizama u kruženju ugljika u moru. U ovom radu predstavljamo preliminarnu analizu dinamike kokolitoforida u razdoblju od 1990. do 2023. godine na LTER postaji u Tršćanskom zaljevu. Na ovom području SJ kokolitoforidi su uglavnom činili manje od 10 % ukupne abundancije fitoplanktona. Prosječni sezonski obrazac karakterizirao je zimski maksimum, nakon kojeg je slijedio pad tijekom proljeća i ranog ljeta te sekundarni porast u jesen. Zimskim i jesenskim maksimumima dominirale su vrste *Gephyrocapsa huxleyi* odnosno *Syracosphaera pulchra*. Generalizirani linearni modeli pokazali su da je temperatura mora glavni negativni čimbenik koji utječe na abundanciju, dok su nitrat i amonij imali pozitivan učinak. Na međugodišnjoj skali abundancija kokolitoforida znatno je varirala, pri čemu su se godišnji medijani kretali od $7,0 \times 10^3$ do $4,2 \times 10^4$ stanica L^{-1} . Najveća abundancija ($7,1 \times 10^5$ stanica L^{-1}) zabilježena je u siječnju 1992. godine i činila je 70 % ukupne abundancije fitoplanktona. Epizodna zimska cvjetanja iznad 10^5 stanica L^{-1} prikrila su dugoročne trendove, iako je uočen slab pad tijekom 2000-ih godina te ponovno nakon 2018. Sezonske analize pokazale su slabe negativne trendove u svim godišnjim dobima osim zimi, pri čemu je najizraženiji pad zabilježen u proljeće, iako trendovi nisu bili statistički značajni. Uočena sklonost kokolitoforida prema hladnijim uvjetima upućuje na njihovu potencijalnu osjetljivost na buduće zagrijavanje, s mogućim posljedicama za kruženje ugljika u SJ.

Ključne riječi: dinamika fitoplanktona, kokolitoforidi, dugoročni trendovi, klimatsko zagrijavanje, sjeverni Jadran

Coccolithophore dynamics in the northern Adriatic Sea under ongoing warming and environmental change

Lara, Vilim¹, Janja, Francé², Petra, Slavinec^{2,3}, Edward A.D., Mitchell⁴, Patricija, Mozetič²

¹Rue Paul Bouvier 13, 2000 Neuchâtel, Switzerland, ²National Institute of Biology, Marine Biology Station Piran, Fornače 41, 6330 Piran, Slovenia, ³University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenia, ⁴Université de Neuchâtel, Faculté des sciences, Neuchâtel, Switzerland

e-mail adresa: patricija.mozetic@nib.si

Climate change in the northern Adriatic Sea (NA), including rising seawater temperatures and altered hydrological regimes, has led to long-term changes in nutrient availability in coastal waters and changes in phytoplankton communities. Previous studies have documented a continuous decline in phytoplankton biomass, changes in size structure, and less predictable phenology of diatom-dominated assemblages. In contrast, coccolithophore dynamics remain poorly studied despite the important role of these calcifying phytoplankton in marine carbon cycling. We present a preliminary analysis of coccolithophore dynamics from 1990 to 2023 at the LTER station in the Gulf of Trieste. In this area of the NA, coccolithophores generally accounted for less than 10% of total phytoplankton abundance. The average annual pattern was characterised by a winter maximum, followed by a decline through spring and early summer, and a secondary increase in autumn. Winter and autumn peaks were dominated by *Gephyrocapsa huxleyi* and *Syracosphaera pulchra*, respectively. Generalised linear models identified seawater temperature as the main negative driver of abundance, while nitrate and ammonium had positive effects. On the interannual scale, coccolithophore abundance fluctuated markedly, with annual medians ranging from 7.0×10^3 to 4.2×10^4 cells L⁻¹. The highest abundance (7.1×10^5 cells L⁻¹) was recorded in January 1992 and accounted for 70% of total phytoplankton abundance. Episodic winter blooms above 10^5 cells L⁻¹ obscured long-term trends, although a weak decline was observed during the 2000s and again after 2018. Seasonal analyses indicated weak negative trends in all seasons except winter, with the strongest in spring, although these were not statistically significant. The apparent preference of coccolithophores for cooler conditions suggests potential sensitivity to future warming, with possible implications for carbon cycling in the NA.

Keywords: phytoplankton dynamics, coccolithophores, long-term trends, climate warming, northern Adriatic Sea

Kako mikroalge odgovaraju na klimatske promjene?

Nadica, Ivošević DeNardis¹, Nives, Novosel¹, Tea, Mišić Radić¹, Maja, Levak Zorinc¹, Joanna, Zemla², Malgorzata, Lekka², Ivna, Vrana¹, Blaženka, Gašparović¹, Lucija, Horvat¹, Damir, Kasum¹, Tarzan, Legović^{1,3,4}, Petar, Žutinić⁵, Marija, Gligora Udovič⁵

¹Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, 10000 Zagreb, ²Institut za nuklearnu fiziku Poljske akademije znanosti, Radzikowskiego 152 31-342 Kraków, Poljska, ³Libertas međunarodno sveučilište, Trg J. F. Kennedy 6b, 10000 Zagreb, ⁴OIKON – Institut za primijenjenu ekologiju, Trg senjskih uskoka 1-2, 10000 Zagreb, ⁵Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

e-mail adresa: ivosevic@irb.hr

Odgovor mikroalgi na klimatske promjene proučavan je kroz laboratorijska i terenska istraživanja te modeliranja, pri čemu su prepoznate kao brzi i pouzdani indikatori promjena u vodenim ekosustavima. Međutim, njihov odgovor na staničnoj razini, u smislu ponašanja stanica i teško dostupnih površinskih svojstava, još uvijek je slabo razjašnjen. Tijekom četverogodišnjeg istraživačkog rada ispitan je utjecaj abiotičkih stresora – temperature (12, 18 i 30 °C) i saliniteta (9, 19, 27 i 38) – na tri vrste mikroalgi različite složenosti stanične barijere (*Dunaliella tertiolecta*, *Tetraselmis suecica* i *Cylindrotheca closterium*). Primjenom multimetodološkog pristupa, otkriveno je da je adaptacijski odgovor stanica strogo specifičan za vrstu i ovisan o stresoru. Stanične barijere imaju presudnu zaštitnu ulogu: mikroalga bez stijenke (*D. tertiolecta*) pokazuje najveće nanomehaničke i kemijske promjene, postajući kruća pri niskom salinitetu uz smanjenu pokretljivost i visoku fiziološku aktivnost. Nasuprot tome, alga *C. closterium*, zaštićena silicijskom stijenkom, manje je osjetljiva i pokazuje izražen kemijski odgovor kroz promjenu hidrofobnosti. *T. suecica* pri salinitetu 38 postiže najveću stopu rasta i hidrofobnost, što pogoduje agregaciji, dok u nepovoljnim uvjetima (pri salinitetu 19) potencijalno prelazi u fazu ciste uz oslobađanje organske tvari koja se organizira u gustu mrežu.

Ova istraživanja dokazuju da svojstva površine i ponašanje stanica mogu služiti kao pouzdani bioindikatori poremećaja u vodenom ekosustavu, s potencijalnom primjenom u praćenju zdravlja mora.

Ključne riječi: klimatski stresori, mikroalge, ponašanje stanica, površinska svojstva stanice

How do microalgae respond to climate change?

Nadica, Ivošević DeNardis¹, Nives, Novosel¹, Tea, Mišić Radić¹, Maja, Levak Zorinc¹, Joanna, Zemla², Malgorzata, Lekka², Ivna, Vrana¹, Blaženka, Gašparović¹, Lucija, Horvat¹, Damir, Kasum¹, Tarzan, Legović^{1,3,4}, Petar, Žutinić⁵, Marija, Gligora Udovič⁵

¹Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, ²Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Sciences, Radzikowskiego 152 31-342 Kraków, Poland, ³Libertas International University, Trg J. F. Kennedy 6b, 10000 Zagreb, ⁴OIKON-Institute for Applied Ecology, Trg senjskih uskoka 1-2, 10000 Zagreb, ⁵Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

e-mail address: ivosevic@irb.hr

The response of microalgae to climate change has been studied through laboratory, field, and modeling studies, where they have been recognized as rapid and reliable indicators of changes in aquatic ecosystems. However, their response at the cellular level, in terms of cell behavior and hard-to-reach surface properties, remains poorly understood. During a four-year research project, the impact of abiotic stressors, such as temperature (12, 18, and 30 °C) and salinity (9, 19, 27, and 38), on three microalgae species with different cell barrier complexity (*Dunaliella tertiolecta*, *Tetraselmis suecica*, and *Cylindrotheca closterium*) was examined. Using a multi-methodological approach, it was found that the adaptive response of cells is strictly species-specific and stressor-dependent. Cellular barriers play a crucial protective role: the wall-less microalga *D. tertiolecta* shows the greatest nanomechanical and chemical changes, becoming stiffer at low salinity with reduced mobility and high physiological activity. In contrast, the alga *C. closterium*, protected by a silica wall, is less sensitive and shows a pronounced chemical response through a change in hydrophobicity. *T. suecica* at salinity 38 achieves the highest growth rate and hydrophobicity, which favors aggregation, while under unfavorable conditions (at salinity 19) it may transition to the cyst phase, releasing organic matter that forms a dense network. These studies show that surface properties and cell behavior could serve as reliable bioindicators of disturbances in aquatic ecosystems, with potential application in monitoring marine health.

Keywords: cell behavior, cell surface properties, environmental stressors, microalgae

Odgovori smeđe makroalge *Gongolaria barbata* na ekstremne temperature: uvid iz *ex situ* i *in situ* eksperimenata

Andrea, Bilajac, Edi, Gljušćić, Marsej, Markovski, Matej, Čief, Ljiljana, Iveša

Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, Hrvatska

e-mail adresa: abilajac@irb.hr

Makroalge iz reda Fucales važni su graditelji staništa na stjenovitom dnu Sredozemnog mora. U novije vrijeme uočen je pad brojnosti ovih vrsta kao rezultat utjecaja višestrukih negativnih čimbenika, uključujući utjecaj porasta temperature. Laguna Šćuza jedna je od rijetkih preostalih postaja gdje pronalazimo zdravu šumu makroalge *Gongolaria barbata* u sjevernom Jadranu, u kojoj se također bilježe ekstremni temperaturni uvjeti. Kao odgovor na ubrzano propadanje morskih šuma, od nedavno se razvijaju aktivne metode obnove. U našem istraživanju pratili smo temperature u laguni Šćuza te na temelju *in situ* temperatura proveli *ex situ* eksperiment termotolerancije na odraslim jedinkama *G. barbata* kako bismo odredili gornji prag temperature tolerancije i potencijal oporavka. Nadalje, plodni materijal iz lagune Šćuza koristili smo za provođenje eksperimenta uzgoja kako bi dobili uvid u optimalne *ex situ* uvjete uzgoja i definirali najpovoljnije razdoblje za *in situ* presađivanje juvenilnih jedinki. *In situ* presađivanje provedeno u najtoplijem dijelu godine pomoglo nam je u određivanju dinamike rasta juvenilnih jedinki u ekstremnim temperaturnim uvjetima. Rezultati ukazuju da odrasle jedinke *G. barbata* imaju izvanrednu otpornost na dugotrajnu izloženost ekstremnim temperaturama *ex situ* te sugeriraju da kratkotrajna izloženost temperaturama iznad 32 °C, kakve su trenutno zabilježene u laguni ne utječe značajno na fiziologiju i morfologiju. Kod juvenilnih jedinki, u najtoplijem dijelu godine ekstremne temperature dovele su do faze stagnacije rasta, dok je ponovna faza rasta uslijedila nakon normalizacije temperature. Budući da je dobro poznato da laguna Šćuza podržava zdravu morsku šumu makroalga, presađivanje uzgojenih jedinki namjerno je izvršeno na originalnoj donorskoj postaji, što povećava mogućnost preživljavanja. Time naglašavamo dvojak ulogu donorskih postaja, koje mogu poslužiti kao izvor plodnog materijala i kao rasadnici u ranim fazama obnove vrsta reda Fucales.

Ključne riječi: *Gongolaria barbata*, morska šuma, termotolerancija, uzgoj, Jadransko more

Responses of the brown macroalga *Gongolaria barbata* on extreme temperatures: insights from *ex situ* and *in situ* experiments

Andrea, Bilajac, Edi, Gljušćić, Marsej, Markovski, Matej, Čief, Ljiljana, Iveša

Ruđer Bošković Institute, Center for Marine Research, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, Croatia

e-mail address: abilajac@irb.hr

Fucal species are important habitat builders on rocky bottoms of the Mediterranean Sea. In recent times, the decline of these species is observed as a result of negative impact of multiple factors, including the impact of rising temperatures. Šćuza lagoon is one of the remaining sites in the northern Adriatic Sea where a healthy forest of *Gongolaria barbata* is found, and the one in which extreme temperatures are observed. As a response to the rapid decline of marine forests, active restoration methods are recently being developed. In our study, temperatures in Šćuza lagoon were monitored, and based on *in situ* conditions, an *ex situ* thermotolerance experiment on adult individuals of *G. barbata* was conducted in order to determine the upper temperature tolerance threshold and recovery potential. Furthermore, to get an insight into the optimal *ex situ* conditions and define the best period for *in situ* juvenile transplantation, a cultivation experiment was performed using fertile branches collected in the lagoon. *In situ* transplantation performed in the warmest part of the year helped in determining the growth dynamic of juveniles under extreme conditions. Our results show that *G. barbata* adults have a remarkable resilience during long-term exposure to extreme temperatures and suggest that short-term exposure to temperatures beyond 32 °C, currently experienced in the lagoon do not notably affect their physiology or morphology. Extreme temperatures in the warmest part of the year caused juvenile growth to stagnate, while they survived and restarted to grow when temperatures normalized. As it is well known that Šćuza lagoon already supports a healthy marine macroalgal forest, the transplantation of freshly grown individuals was intentionally performed at the original donor site, thus maximizing the probability of survival. This emphasizes the dual role of donor sites serving both as a source of fertile material and early restoration phase nurseries for fucal species.

Keywords: *Gongolaria barbata*, marine forest, thermotolerance, cultivation, Adriatic Sea

Što se događa s jadranskim bračićem? Pregled na bazi populacije i zajednice

Edi, Gljušćić¹, Andrea, Bilajac¹, Marsej, Markovski¹, Matej, Čieľ¹, Gabriel, Rowell¹, Ljiljana, Iveša¹

¹Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora Rovinj, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, Hrvatska

e-mail adresa: edi.gljuscic@irb.hr

Jadranski bračić (*Fucus virsoides* J. Agardh, 1868) endemska je višegodišnja alga koja prirodno formira guste pojaseve ili točkasta naselja u zoni plime i oseke Jadranskog mora te kao takva ima važnu ulogu u ekologiji obalnih zajednica. Tijekom zadnjih nekoliko desetljeća, naselja jadranskog bračića su nestala duž većine obale Jadrana, od Italije do Albanije. Iako su pravi uzroci kolapsa još uvijek nepoznati, neke nedavno utvrđene populacije izgledno ne stradavaju od stresora koji učestalo pogađaju druge. Kroz ovu studiju istražili smo strukturu populacija i zajednicu preostalih naselja jadranskog bračića duž istarske obale, uključujući sezonske varijacije u fenologiji, utjecaju brstioća i morfologiji talusa. Rezultati ukazuju na jake sezonske oscilacije rasta i gustoće naselja, koje su doduše prvenstveno rezultat intenzivnog pritiska brstioća, što vjerojatno remeti prirodne vegetativne i fenološke obrasce ove vrste. Osim toga, prikupljeni podaci ukazuju na oblik "regresivne sukcesije", gdje se zajednice dominirane jadranskim bračićem postepeno zamjenjuju zajednicama niskih tzv. "turf" algi. Takve se zajednice sastoje od kratkoživućih i sezonskih vrsta, što rezultira manje složenim ekosustavima. Nadalje, ta sukcesija je također blisko povezana s aktivnosti brstioća, koja smanjuje gustoću populacije, preživljavanje i reproduktivni kapacitet jadranskog bračića, što pak omogućava niskim, oportunističkim algama kompetitivnu prednost nad ključnom vrstom zajednice. Usporedbom uglavnom propalih istarskih populacija s dobrostojećim u Novigradskom i Karinskom moru mogli bi se razjasniti uzroci regresije i utvrditi je li povećana aktivnost brstioća glavni uzrok nestajanja jadranskog bračića u sjevernom Jadranu.

Ključne riječi: *Fucus virsoides*, istarska obala, Novigradsko more, struktura populacije, sastav zajednice.

What is going on with the Adriatic Fucus? A population and community-based overview

Edi, Gljušćić¹, Andrea, Bilajac¹, Marsej, Markovski¹, Matej, Čieľ¹, Gabriel, Rowell¹,
Ljiljana, Iveša¹

¹*Ruder Bošković Institute, Center for Marine Research Rovinj, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, Croatia*

e-mail address: edi.gljuscic@irb.hr

The Adriatic Fucus (*Fucus virsoides* J. Agardh, 1868) is an endemic perennial alga that naturally forms dense belts or patchy stands in the intertidal zone of the Adriatic Sea, playing an important role in coastal community ecology. Over the recent decades, its populations have collapsed across most of the Adriatic coast, from Italy to Albania. While the causes remain unclear, some recently confirmed populations appear unaffected by the stressors affecting others. This study examined the population and community structure of the remnant *F. virsoides* stands along the Istrian coast, including seasonal phenological variations, grazing pressure, and thallus morphology. Results reveal strong seasonal fluctuations in growth and density, though driven mainly by intense grazing pressure, which likely disrupts the species' natural vegetative and phenological patterns. Additionally, the collected data suggests an ongoing form of “regressive succession”, where *Fucus*-dominated communities are being replaced by turf-dominated ones, comprising of more ephemeral and seasonal species, which results in less complex ecosystems. This shift is also largely linked to grazing, which reduces *F. virsoides* population density, survival, and reproductive capacity, allowing more opportunistic “turf” algae to outcompete this keystone species. Comparing the largely collapsed Istrian populations with the thriving ones in the Novigrad and Karin Seas could clarify the causes of the collapse and determine whether the increased grazer activity is the primary driver of *F. virsoides* decline in the northern Adriatic.

Key words: *Fucus virsoides*, Istrian coast, Novigrad sea, population structure, community structure,

Priobalne bentoske zajednice Novigradskog i Karinskog mora: Ekološka zamka ili utočište za smeđe alge?

Ljiljana, Iveša¹, Edi, Gljušćić¹, Andrea, Bilajac¹, Hrvoje, Čižmek², Barbara, Čolić², Marsej, Markovski¹, Matej, Čieľ¹, Gabriel, Rowell¹

¹Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, Hrvatska

²Društvo istraživača mora - 20000 milja, Put Bokanjca 26A, 23000 Zadar, Hrvatska

e-mail adresa: ivesa@cim.irb.hr

Smeđe alge reda Fucales i kelpovi u globalnom su padu, ugrožavajući neka od najproduktivnijih priobalnih morskih staništa. U Sredozemlju i Jadranu degradacija ovih zajednica posljedica je kumulativnog djelovanja lokalnih i globalnih antropogenih stresora, uključujući klimatske promjene i zagrijavanje mora, degradaciju staništa, pogoršanje kakvoće mora te promjene u intenzitetu brstioća. Dijelovi Jadrana, poput istarske obale, u plitkim staništima gotovo su u potpunosti izgubili dominantne zajednice smeđih algi kao što su šume cistozira i sargasa te endemske zajednice jadranskog bračića (*Fucus virsoides*). Te su zajednice zamijenjene niskim algama („*turf*”), formirajući manje kompleksne zajednice koje ipak zadržavaju znatnu razinu bioraznolikosti. Međutim, takav obrazac nije prisutan u cijelom Jadranu. U Novigradskom i Karinskom moru, u plitkom obalnom pojasu na hridinastom dnu do 4 m dubine, dominantna su naselja vrste *Fucus virsoides* i *Gongolaria barbata*, s velikom pokrovnošću i biomasom. Unutar tih naselja raznolikost bentoske flore i faune niža je nego u zajednicama smeđih algi u plitkim dijelovima istočne obale Jadrana. Preliminarni podaci također ukazuju na izražene prostorne i vremenske varijacije temperature i saliniteta. Zanimljivo je da su biljojedi poput puževa, ježinaca i biljojednih riba gotovo potpuno odsutni, što omogućuje visoku razinu reprodukcije vrsta *F. virsoides* i *G. barbata*. Visoka biomasa i postojanost ovih populacija sugeriraju da ova područja djeluju kao oblik „klimatskog utočišta” za vrste koje danas teško opstaju na otvorenijim plitkim staništima poput istarske obale. Ove populacije pružaju priliku za eventualne konzervacijske intervencije u ugroženijim područjima, a Novigradsko i Karinsko more kao takvi, mogu poslužiti i kao prirodni laboratorij i „uzgajalište” za proučavanje njihovog rasta i razvoja.

Ključne riječi: Novigradsko more, Karinsko more, *Gongolaria barbata*, *Fucus virsoides*, utočište

Coastal benthic communities of the Novigrad and Karin Seas: Ecological trap or refuge for brown algae?

Ljiljana, Iveša¹, Edi, Gljušćić¹, Andrea, Bilajac¹, Hrvoje, Čižmek², Barbara, Čolić², Marsej, Markovski¹, Matej, Čieľ¹, Gabriel, Rowell¹

¹*Ruđer Bošković Institute, Center for Marine Research Rovinj, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, Croatia*

²*Marine Explorers Society 20000 Leagues, Put Bokanjca 26A, 23000 Zadar, Croatia*

e-mail address: ivesa@cim.irb.hr

Brown algae of the order Fucales and kelps are in global decline, endangering some of the most productive coastal marine habitats. In the Mediterranean and Adriatic Seas, the degradation of these communities results from the cumulative effects of local and global anthropogenic stressors, including climate change and seawater warming, habitat degradation, deterioration of water quality, and changes in grazing pressure. Parts of the Adriatic, like the shallow parts of the Istrian coast, have nearly completely lost their dominant brown algal communities such as *Cystoseira* and *Sargassum* forests, as well as the endemic *Fucus virsoides* stands, replaced by low-growing, "turf" algae forming simpler, shorter-lived communities, though retaining some noticeable biodiversity. However, such a pattern does not appear everywhere. In the Novigrad and Karin Seas, the shallow coastal zone on rocky substrate down to 4 m depth is dominated by *Fucus virsoides* and *Gongolaria barbata* assemblages with high cover and biomass. Within these assemblages, the diversity of benthic flora and fauna is lower than in comparable brown algal communities from shallow habitats along the eastern Adriatic coast. Preliminary data also indicate pronounced spatial and temporal variability in temperature and salinity. Notably, herbivores such as snails, urchins and herbivorous fish, appear fully absent, enabling high levels of *F. virsoides* and *G. barbata* reproduction. Their high biomass and persistence suggest these areas act as a form of "climate refugia" for species struggling in more open shallow habitats like the Istrian coast. These populations may offer opportunities for conservation interventions in more threatened areas, with the Novigrad and Karin Seas also serving as a natural laboratory and hatchery for studying their growth and development.

Keywords: Novigrad Sea, Karin Sea, *Fucus virsoides*, *Gongolaria barbata*, refugium

Ktenofora *Mnemiopsis leidyi* u sjevernom Jadranu: od unosa balastnim vodama do trajnog naseljavanja i visokih abundancija

Romina, Kraus¹, Paolo, Paliaga², Andrea, Budiša², Natalija, Dunić³, Nastjenjka, Supić¹

¹ *Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Giordana Paliaga 5, Rovinj, Hrvatska,*

² *Fakultet prirodnih znanosti, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Zagrebačka 30, Pula, Hrvatska,*

³ *Institut za oceanografiju i ribarstvo, Šetalište I. Meštrovića 63, Split, Hrvatska*

e-mail adresa: kraus@cim.irb.hr

Ktenofora *Mnemiopsis leidyi* ubraja se među 100 najgorih invazivnih stranih vrsta prema popisu IUCN-a. Prvi nalaz u sjevernom Jadranu zabilježen je 2005., a od 2016. pojavljuje se u visokim abundancijama. Iako se tijekom zime i proljeća opaža samo sporadično, njezina biološka svojstva omogućuju joj preživljavanje nepovoljnih uvjeta i trajnu prisutnost. *M. leidyi* i inćun (*Engraulis encrasicolus*) hrane se zooplanktonom. Visoke abundancije *M. leidyi* pojačavaju kompeticiju za hranu i utječu na prostornu raspodjelu inćuna. Istraživanja provedena 2020. ukazala su na promjene organske produkcije u ovom području, što potvrđuju rezultati nacionalnog monitoringa. Klimatske projekcije pokazuju da bi buduće promjene cirkulacije mogle pogodovati širenju voda rijeke Po prema istoku i njihovu duljem zadržavanju u vrtlozima. Time bi se mogla povećati količina hranjivih tvari, promijeniti produkcija planktona i dostupnost zooplanktonskog plijena, neizravno pogodovati održanju visokih abundancija *M. leidyi* te pojačati njezino preklapanje u korištenju hranidbenih resursa s inćunom. Cirkulacija mora također utječe na prostornu raspodjelu *M. leidyi*. Tijekom ljeta i početkom jeseni *M. leidyi* može se nakupljati u anticiklonalnom vrtlogu zapadno od Istre. Tijekom bure i hlađenja vodenog stupca promjene cirkulacije mogu prenijeti *M. leidyi* iz vrtloga prema obali. Jedan takav događaj prijenosa *M. leidyi* zabilježen je u listopadu 2020., kada je kod Rovinja utvrđena u visokoj abundanciji. Preliminarno istraživanje provedeno u kolovozu 2025. također upućuje na povezanost povišene abundancije *M. leidyi* kod Rovinja s izraženim prodorima nestabilnog zraka. Klimatske projekcije upućuju na moguću veću učestalost takvih meteoroloških situacija, što bi moglo povećati prijenos *M. leidyi* prema obali i kompeticiju s inćunom. Ovi rezultati naglašavaju potrebu za kontinuiranim praćenjem *M. leidyi* i odgovarajućim upravljanjem balastnim vodama radi ograničavanja novih unosa i širenja *M. leidyi* u Jadranu.

Ključne riječi: *Mnemiopsis leidyi*, invazivne strane vrste, klimatske promjene, balastne vode, Jadransko more

The ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in the northern Adriatic: from ballast water introduction to permanent establishment and high abundance

Romina, Kraus¹, Paolo, Paliaga², Andrea, Budiša², Natalija, Dunić³, Nastjenjka, Supić¹

¹ *Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Giordana Paliaga 5, Rovinj, Hrvatska,*

² *Faculty of Natural Sciences, Juraj Dobrila University of Pula, Zagrebačka 30, Pula, Hrvatska,*

³ *Institute of Oceanography and Fisheries, Promenade I. Meštrovića 63, Split, Hrvatska*

e-mail address: kraus@cim.irb.hr

The ctenophore *Mnemiopsis leidyi* is listed among the IUCN's 100 worst invasive alien species. First recorded in the northern Adriatic in 2005, it has appeared in high abundances since 2016. Although observed only sporadically during winter and spring, its biological traits allow it to survive unfavourable conditions and maintain a permanent presence. Both *M. leidyi* and the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) feed on zooplankton. High abundances of *M. leidyi* intensify food competition and affect anchovy distribution. Research from 2020 indicated changes in organic production in this region, and national monitoring results corroborate this finding. Climate projections show that future circulation changes may favour the eastward spread of Po River waters and their prolonged retention within eddies. This could increase nutrient availability, alter plankton production and the availability of zooplankton prey, and indirectly favour the persistence of high *M. leidyi* abundances, increasing its overlap with anchovy in the use of food resources. Ocean circulation also influences the distribution of *M. leidyi*. In summer and early autumn, *M. leidyi* may accumulate within an anticyclonic eddy west of Istria. During bora events and water column cooling, circulation shifts may transport *M. leidyi* from the eddy towards the coast. Such mass transport occurred in October 2020, causing exceptionally high abundances of *M. leidyi* near Rovinj. A preliminary study in August 2025 similarly linked increased abundance of *M. leidyi* near Rovinj to pronounced incursions of unstable air masses. Climate projections indicate these meteorological situations may become more frequent, potentially increasing the transport of *M. leidyi* towards the coast and competition with anchovy. These findings highlight the need for continuous monitoring of *M. leidyi* and appropriate ballast water management to limit new introductions and the spread of *M. leidyi* in the Adriatic Sea.

Keywords: *Mnemiopsis leidyi*, invasive alien species, climate changes, ballast waters, Adriatic Sea

Grebeni koralja *Cladocora caespitosa* u istočnom Jadranu i njihova ugroženost klimatskim promjenama

Petar, Kružić¹, Pavel, Ankon¹, Romana, Gračan¹, Sven, Horvatić¹

¹Laboratorij za biologiju mora, Zavod za zoologiju, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

e-mail adresa: pkruzic@zg.biol.pmf.hr

Endemski kameni koralj *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767) jedini je simbiotski koralj koji gradi grebene u Sredozemnom moru. Ovoj ugroženoj vrsti značajno prijete klimatske promjene i negativni antropogeni utjecaji. Potencijal biokonstrukcije, stope rasta i negativni utjecaji (anomalije temperature mora, onečišćenje) na kolonije koralja praćeni su na tri grebena koralja *C. caespitosa*: u zaštićenom morskom području Veliko jezero (Nacionalni park Mljet), Stanići kod Omiša i Miletići kod Paškog mosta. Napravljene su karte grebena koralja fotogrametrijom. Stopa godišnjeg rasta čaški koralja (koralita) na grebenima (od 2,15 mm do 5,32 mm godišnje) slična je relevantnim istraživanjima u različitim područjima Sredozemnog mora i pokazala je pozitivnu korelaciju s prosječnom godišnjom temperaturom mora. Starost grebena koralja utvrđena je datiranjem metodom radioaktivnog izotopa ugljika ¹⁴C. Područje istočnog Jadrana proživljava izuzetno topla ljeta tijekom posljednja dva desetljeća, s temperaturama mora koje dosežu i do 30 °C, što je uzrokovalo štetu na grebenima koralja. Smrtnost kolonija *C. caespitosa* uzrokovana izbjeljivanjem polipa i nekrozom tkiva pokazala je pozitivnu korelaciju s anomalijama visoke temperature mora tijekom ljeta i jeseni što rezultira potpunom ili djelomičnom smrtnošću kolonija. Posljedice antropogenog obogaćivanja mora hranjivim tvarima, sidrenje, ribolovni alati, te povećanje temperature morske vode odgovorne su za sve veću ugroženost grebena koralja *C. caespitosa*. Čini se da koralj *C. caespitosa* živi blizu svoje termalne granice tijekom ljetnog razdoblja, stoga bi dugoročno povećanje temperature do 28°C ili više moglo biti kobno za kolonije ove vrste. Sadašnji trend zagrijavanja mora zajedno s urbanizacijom negativno utječe na istraživane grebene vrste *C. caespitosa* u istočnom dijelu Jadranskog mora, što je izaziva zabrinutost za njegovu buduću održivost.

Ključne riječi: *Cladocora caespitosa*, koraljni greben, ekološki utjecaji, klimatske promjene, Jadransko more

A *Cladocora caespitosa* banks in the eastern Adriatic Sea and their vulnerability to climate change

Petar, Kružić¹, Pavel, Ankon¹, Romana, Gračan¹, Sven, Horvatić¹

¹Laboratory for Marine Biology, Department of Zoology, Faculty of Science, University of Zagreb, Rooseveltov trg 6, HR-10000 Zagreb, Croatia

e-mail address: pkruzic@zg.biol.pmf.hr

The endemic stony coral *Cladocora caespitosa* (Linnaeus, 1767) is the only symbiotic reef-building coral in the Mediterranean Sea. This endangered species is significantly threatened by climate change and negative anthropogenic impacts. The bioconstruction potential, growth rates, and adverse effects (sea temperature anomalies and pollution) on coral colonies were monitored at three *C. caespitosa* banks: in the protected marine area of Veliko Jezero (Mljet National Park), Stanići near Omiš and Miletići near the Pag bridge. Coral bank maps were produced using photogrammetry. The annual growth rate of coral calices (corallites) on the banks (ranging from 2.15 mm to 5.32 mm per year) was comparable to values reported in relevant studies from different regions of the Mediterranean Sea and showed a positive correlation with the average annual sea temperature. The age of the coral banks was determined by radiocarbon (¹⁴C) dating. Over the past two decades, the eastern Adriatic region has experienced exceptionally warm summers, with sea temperatures reaching up to 30°C, causing damage to coral banks. Mortality of *C. caespitosa* colonies, resulting from polyp bleaching and tissue necrosis, showed a positive correlation with high sea temperature anomalies during summer and autumn, leading to partial or complete colony mortality. Anthropogenic nutrient enrichment of seawater, anchoring activities, fishing gear, and increasing seawater temperatures are responsible for the growing vulnerability of *C. caespitosa* banks. *C. caespitosa* appears to live close to its thermal tolerance limit during the summer period; therefore, prolonged exposure to temperatures up to 28°C or higher could be fatal to colonies of this species. The current trend of sea warming, combined with urbanisation, is negatively affecting the studied *C. caespitosa* banks in the eastern Adriatic Sea, raising concerns about their long-term viability and sustainability.

Keywords: *Cladocora caespitosa*, coral bank, ecological impacts, climate change, Adriatic Sea

Ugroženost populacija crvenog koralja u istočnom dijelu jadranskog mora

Petar, Kružić¹, Pavel, Ankon¹, Romana, Gračan¹, Hrvoje, Čižmek², Barbara, Čolić²,
Agata, Kovačev³

¹Laboratorij za biologiju mora, Zavod za zoologiju, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; ²Društvo istraživača mora - 20000 milja, Put Bokanjca 26A, Zadar, Hrvatska; ³JU Nacionalni park Kornati, Butina 2, 22243 Murter, Hrvatska

e-mail adresa: pkruzic@zg.biol.pmf.hr

Stanje populacija crvenog koralja (*Corallium rubrum*, Linnaeus, 1758) u istočnom dijelu Jadrana nedovoljno je istraženo, posebice njihova populacijska struktura i dinamika. Ova je vrsta zaštićena zakonom u Republici Hrvatskoj, ali i vrlo ugrožena u Jadrana. Crveni koralj se komercijalno vadio u gotovo svim zemljama Sredozemnog mora i populacije su značajno smanjene u većini područja do dubine od 50 metara. Duga povijest intenzivnog komercijalnog vađenja zbog izrade nakita rezultirala je smanjenjem njegovih populacija i u istočnom dijelu Jadranskog mora, što je postalo vidljivo tijekom posljednja dva desetljeća. Iako je dokumentirana smrtnost većih razmjera (uglavnom zbog temperaturnih anomalija), vađenje (legalno i ilegalno) je glavni razlog poremećaja u populacijama crvenog koralja u Jadranskom moru. Cilj provedenih istraživanja bio je kvantificirati rasprostranjenost, brojnost i stanje populacija crvenog koralja u koraligenskoj biocenozi na 25 lokacija duž istočne obale Jadrana na dubinama od 35 do 60 metara u zaštićenim i nezaštićenim područjima. Rezultati istraživanja ukazuju na znatnu ugroženost plićih populacija uslijed zagrijavanja mora te komercijalnog vađenja. Na svim postajama s populacijama na dubinama manjim od 50 metara utvrđen je negativan utjecaj povišenih temperatura mora tijekom ljetnih i jesenskih mjeseci. Utvrđene vrijednosti gustoće kolonija po kvadratnom metru na istraživanim postajama pripadaju populacijama relativno rijetke gustoće (prosjeak istraživanih lokacija je 48 kolonija po m², prosječna visina kolonija 12,7 cm) u odnosu na populacije crvenog koralja u Sredozemnom moru. Jedan od razloga može biti i intenzivno vađenje crvenog koralja. Ukoliko se ne unaprijedi zaštita i praćenje stanja populacija crvenog koralja, potpuna zabrana vađenja mogla bi preostati kao jedina održiva opcija za očuvanje ove dragocjene vrste.

Ključne riječi: Crveni koralj, *Corallium rubrum*, Jadransko more, vađenje koralja, klimatske promjene

Threat Status of Red Coral Populations in the Eastern Adriatic Sea

Petar, Kružić¹, Pavel, Ankon¹, Romana, Gračan¹, Hrvoje, Čižmek², Barbara, Čolić²,
Agata, Kovačev³

¹Laboratory for Marine Biology, Department of Zoology, Faculty of Science, University of Zagreb, Rooseveltov trg 6, HR-10000 Zagreb, Croatia; ²Marine Explorers Society 20.000 leagues, Put Bokanjca 26A, Zadar, Croatia; ³National Park Kornati, Butina 2, 22243 Murter, Croatia

e-mail address: pkruzic@zg.biol.pmf.hr

The status of red coral (*Corallium rubrum* Linnaeus, 1758) populations in the eastern Adriatic Sea remains insufficiently studied, particularly with regard to their population structure and dynamics. This species is legally protected in the Republic of Croatia and is considered highly threatened throughout the Adriatic Sea. Red coral has been commercially harvested in almost all Mediterranean countries, resulting in a substantial decline of populations in most areas at depths of up to 50 m. The long history of intensive commercial exploitation for the jewellery industry has also led to a significant reduction of red coral populations in the eastern Adriatic. Although large-scale mortality events, primarily associated with thermal anomalies, have been documented, both legal and illegal harvesting remain the principal drivers of population decline and disturbance in the Adriatic Sea. The objective of this study was to quantify the distribution, abundance, and condition of red coral populations inhabiting coralligenous assemblages at 25 sites along the eastern Adriatic coast, at depths ranging from 35 to 60 m, in both protected and unprotected areas. The results indicate that shallow populations are highly vulnerable to seawater warming and commercial harvesting. At all study sites where populations occurred at depths shallower than 50 m, the adverse effects of elevated seawater temperatures during the summer and autumn months were observed. The recorded colony densities at the investigated sites correspond to relatively low-density populations (mean density of 48 colonies m²; mean colony height of 12.7 cm) compared with red coral populations elsewhere in the Mediterranean Sea. Intensive harvesting is likely one of the main factors contributing to these low population densities. Unless the protection and long-term monitoring of red coral populations are significantly improved, a complete ban on harvesting may remain the only sustainable option for ensuring the conservation of this valuable species.

Keywords: Red coral, *Corallium rubrum*, Adriatic Sea, coral harvesting, climate change.

Histološki odgovor dvije vrste gorgonija na dubinske toplinske valove u Jadranskom moru

Romana, Gračan¹, Pavel, Ankon², Petar, Kružić²

¹Zavod za animalnu fiziologiju, Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 10000 Zagreb, Hrvatska; ²Zoologijski zavod, Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 10000 Zagreb, Hrvatska.

e-mail adresa: romana.gracan@biol.pmf.unizg.hr

Gorgonije su jedni od ključnih inženjera ekosustava u Jadranu jer oblikuju strukturu staništa izgradnjom morskog dna te utječu na protok morske vode i sedimentaciju. Njihova dugovječnost, spor rast, odgođena spolna zrelost i niska stopa reprodukcije čine ih iznimno osjetljivim na stresore koji mogu izazvati morfološke, histološke i fiziološke promjene, često kulminirajući masovnim mortalitetima. Histopatološka analiza je ključni alat za detekciju subletalnih i letalnih promjena u tkivu, koje su uzrokovane onečišćenjem, bolestima i/ili klimatskim promjenama. Ovim istraživanjem po prvi put analiziramo fluktuacije temperatura na većim dubinama i njihov utjecaj na crvenu gorgoniju *Paramuricea clavata* i žutu gorgoniju *Eunicella cavolini* u Jadranu. Termalne anomalije su bilježene *in situ* temperaturnim zapisima tijekom 2020.-2022. na dvije lokacije i na tri dubine (20, 30 i 40 m) dok su uzorci tkiva prikupljeni tijekom 2021. i 2022. godine. Prikupljeno je 20 uzoraka *P. clavata* (12 makroskopski zdravih, 8 nekrotičnih) i 14 uzoraka *E. cavolini* (8 zdravih, 6 nekrotičnih). Analizom morskih toplinskih valova (MHW) utvrđeno je 15 MHW na prvoj lokaciji i 12 MHW na drugoj. Histopatološke analize tkiva obje vrste gorgonija otkrile su promjene u skladu s poznatom staničnom reakcijom na toplinski stres. Zabilježili smo epidermalnu nekrozu, disocijaciju gastrodermalnih stanica, smanjenje mezoglealnog tkiva i upalne reakcije, što sugerira da ponovljene toplinske anomalije narušavaju homeostazu tkiva i izazivaju subletalne i letalne lezije. Takva stanja u organizmu imaju znatne dugoročne posljedice i uključuju smanjeni reproduktivni učinak, povećanu osjetljivost i smanjenu sposobnost oporavka u slučaju novih metaboličkih stresova. Osim toga, histološke analize otkrile su da vizualne makroskopske procjene značajno podcjenjuju oštećenja na razini tkiva i da kolonije koje se čine makroskopski zdrave pokazuju znakove subletalnih oštećenja zbog toplinskog stresa.

Ključne riječi: Toplinski stres, koralji, klimatske promjene, histologija

Histological response of two gorgonians on subsurface marine heatwaves in the Adriatic Sea

Romana, Gračan¹, Pavel, Ankon², Petar, Kružić²

¹*Division of Animal Physiology, Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, 10000 Zagreb, Croatia;* ²*Division of Zoology, Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, 10000 Zagreb, Croatia.*

e-mail address: romana.gracan@biol.pmf.unizg.hr

Gorgonian octocorals are key ecosystem engineers in the Adriatic Sea, shaping communities by providing habitat and affecting seawater flow and sedimentation. Their longevity, slow growth, delayed maturity and low recruitment success make them highly susceptible to stressors which can trigger morphological, histological and physiological changes, often culminating in mass mortality events. Histopathological analysis are crucial for detecting sublethal and lethal effects in the tissue, as a consequence of pollution, diseases and/or climate change. This investigation gives the first data on deep-sea temperature fluctuations and their effects on the yellow gorgonian *Eunicella cavolini* and the virescent sea whip *Paramuricea clavata* in the Adriatic Sea. Thermal anomalies were recorded by *in situ* temperature loggers during 2020-2022, placed at two locations and at three depths (20, 30 and 40 m), while tissue sampling was performed during years 2021 and 2022. We collected 20 samples (12 macroscopically healthy, 8 necrotic) of the *P. clavata* and 14 samples (8 healthy, 6 necrotic) of *E. cavolini*. Analysis of marine heatwaves (MHWs) showed 15 MHWs at first and 12 MHWs at second location. Histopathological analyses of both species revealed alterations consistent with known cellular reaction to thermal stress. We recorded epidermal necrosis, gastrodermal dissociation, mesogleal tissue loss and inflammatory responses, suggesting that repeated thermal anomalies compromise tissue homeostasis and induce sublethal and lethal lesions. Such conditions have profound long-term consequences, including reduced reproductive output, increased susceptibility and limited capacity for recovery following future disturbances. Additionally, histological analyses revealed that visual macroscopic assessments substantially underestimate tissue-level impairment and that macroscopically healthy colonies have signs of sublethal lesions due to thermal stress.

Keywords: Heat stress, corals, climate change, histology

Dubina nije utočište: morski toplinski valovi uzrokuju vidljiva i skrivena oštećenja jadranskih koralja

Pavel, Ankon¹, Petar, Kružić¹, Romana, Gračan², Sven, Horvatić¹

¹Zoologijski zavod, Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, 10000 Zagreb, Hrvatska; ²Zavod za animalnu fiziologiju, Biološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, 10000 Zagreb, Hrvatska

e-mail adresa: pavel.ankon@biol.pmf.unizg.hr

Morski toplinski valovi (MHW) ubrzano mijenjaju obalne ekosustave umjerenih područja, no njihovi učinci na mediteranske kamene koralje duž dubinskih gradijenata još su nedovoljno istraženi. Analizirali smo dinamiku MHW-a u istočnom Jadranu od 2020. do 2023. godine koristeći *in situ* temperaturene zapise prikupljene na dubinama od 5 do 40 m na četiri lokaliteta (Piranski zaljev, PP Telašćica, NP Kornati i NP Mljet). Na svim dubinama i lokalitetima zabilježena su 154 MHW događaja (klasificirani prema Hobday i sur. 2016), među kojima su prevladavali umjereni događaji kategorije I, uz nekoliko jakih događaja kategorije II i izoliranih ozbiljnih događaja kategorije III, osobito 2022. i 2023. godine. Termalne podatke povezali smo s morfometrijskim istraživanjima, histopatološkom analizom i biomarkerima oksidativnog stresa kako bismo procijenili odgovore triju jadranskih kamenih koralja: simbiotsku solitarnu vrstu *Balanophyllia europaea* pličeg infralitorala, fakultativno simbiotsku vrstu *Madracis pharensis* i dublju nesimbiotsku solitarnu vrstu *Leptopsammia pruvoti*. U plitkim infralitoralnim staništima *B. europaea* pokazala je izražen epizodni mortalitet, često viši od 40%, a lokalno i 60–70%, što upućuje na izravne posljedice na populacijskoj razini. Suprotno tome, *M. pharensis* i *L. pruvoti* često su zadržavale stabilne gustoće i naizgled zdrave kolonije ili polipe. Međutim, histološka analiza je pokazala promjenjivu prividnu otpornost: mikroskopski zdravo tkivo bilo je rijetko, lezije su zahvaćale epidermis i gastrodermis te napredovale prema nekrozi, kolapsu epitela i mikrobnj kolonizaciji. Biomarkeri oksidativnog stresa dodatno su ukazali na narušenu staničnu homeostazu pod ponavljanim termalnim stresom. Učinci MHW-a ovise o dubini, ali dubina ne pruža potpunu zaštitu: koralji pličeg infralitorala vidljivo odumiru, dok dublji ili kriptični taksoni zasad opstaju, ali pokazuju značajan fiziološki stres. Istraživanje je financirano projektom AdriCor (HRZZ, IP-2019-04-3389).

Ključne riječi: klimatske promjene, kameni koralji, Jadransko more, histologija, biomarkeri oksidativnog stresa

Depth Is Not a Refuge: Marine Heatwaves Drive Visible and Cryptic Damage in Adriatic Corals

Pavel, Ankon¹, Petar, Kružić¹, Romana, Gračan², Sven, Horvatić¹

¹Division of Zoology, Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, 10000 Zagreb, Croatia; ²Division of Animal Physiology, Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, 10000 Zagreb, Croatia

e-mail address: pavel.ankon@biol.pmf.unizg.hr

Marine heatwaves (MHWs) are rapidly transforming temperate coastal ecosystems, yet their effects on Mediterranean scleractinian corals remain insufficiently understood across depth gradients. We analysed MHW dynamics in the eastern Adriatic Sea from 2020 to 2023 using in situ temperature records collected at 5–40 m depth across four localities (Piran bay, NP Telašćica, NP Kornati and NP Mljet). Across all depths and sites, 154 MHW events were identified (classified according to Hobday et al., 2016), dominated by moderate Category I events, but with several strong Category II and isolated severe Category III events, particularly in 2022 and 2023. We integrated these thermal data with morphometric surveys, histopathology and oxidative-stress biomarkers to assess responses of three Adriatic stony corals: the shallow symbiotic solitary *Balanophyllia europaea*, the facultatively symbiotic colonial *Madracis pharensis* and the deeper asymbiotic solitary *Leptopsammia pruvoti*. In shallow infralittoral habitats, *B. europaea* showed pronounced episodic mortality, frequently exceeding 40% and locally reaching 60–70%, indicating direct population-level impacts. By contrast, within the deeper infralittoral and upper circalittoral, *M. pharensis* and *L. pruvoti* often retained stable densities and apparently healthy colonies or polyps. However, histology revealed that this apparent resilience was deceptive: microscopically intact tissue was rare, with lesions affecting the epidermis and gastrodermis and progressing towards necrosis, epithelial collapse and microbial colonisation. Oxidative-stress markers further indicated impaired cellular homeostasis under recurrent thermal stress. MHW impacts are depth-dependent, but not depth-protected: shallow corals die visibly, while deeper or cryptic taxa persist but are (notably) physiologically stressed. This research was funded by the project AdriCor (HRZZ grant number IP-2019-04-3389).

Keywords: climate change, Adriatic Sea, scleractinians, histology, oxidative stress markers

Meduze sjevernog Jadrana kao bioindikator metala i metaloida

Tjaša Kogovšek¹, Darja Mazej², Marta Jagodic Hudobivnik², Alenka Malej³, Ingrid Falnoga²,
Jadran Faganeli³

¹*Institut Rudjer Bošković, Centar za istraživanje mora, Paliage 5, 52210 Rovinj, Hrvatska*

²*Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija,*
³*Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja, Fornace 41, 6330 Piran, Slovenija*

e-mail adresa: Jadran.faganeli@nib.si

Vrste meduza *Aurelia solida*, *Chrysaora hysoscella*, *Cotylorhiza tuberculata*, *Rhizostoma pulmo*, *Aequorea forskalea* te rebraš *Mnemiopsis leidyi*, prikupljeni u Tršćanskom zaljevu, analizirani su na metale i metaloide (Me) kako bi se procijenio njihov potencijal bioakumulacije i biomonitoringa. Vrste su koncentrirale Me u vrijednostima značajno višima od njihovih ottopljenih koncentracija u morskoj vodi i to u redoslijedu Sr>Zn,Fe>As>Cu>Mn>Se>Ni>Pb>Cd>Mo>Cr>Co>Hg. Sastav Me i omjeri Me/C_{org} pokazuju značajne međuvrsne razlike. Vrste s nižim C_{org} imaju tendenciju sadržavanja nižih koncentracija Me u odnosu na vrste s višim udjelom C_{org}. Esencijalni elementi pokazali su veću varijabilnost među vrstama od sadržaja potencijalno toksičnih elemenata kada se normaliziraju na C_{org} (Me/C_{org} omjer). Vrste bioakumuliraju elemente uglavnom duž pelagičnog hranidbenog lanca (plankton). Sastav Me u meduzama je također posljedica unosa ottopljenih Me u moru. Uzimajući u obzir faktore biokoncentracije i bioakumulacije, meduze se mogu koristiti kao bioindikator/biomonitor za Me u morskoj vodi.

Ključne riječi: meduze, želatinozni plankton, metali, metaloidi, sjeverni Jadran

Northern Adriatic jellyfish as a bioindicator of metal(loid)s

Tjaša Kogovšek¹, Darja Mazej², Marta Jagodic Hudobivnik², Alenka Malej³, Ingrid Falnoga²,
Jadran Faganeli³

¹*Rudjer Bošković Institute, Center for Marine Research, Paliage 5, 52210 Rovinj, Croatia*

²*Jožef Stefan Institute, Department of Environmental Sciences, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia,* ³*National Institute of Biology, Marine Biology Station, Fornače 41, 6330 Piran, Slovenia*

e-mail adress: Jadran.faganeli@nib.si

Jellyfish species, *Aurelia solida*, *Chrysaora hysoscella*, *Cotylorhiza tuberculata*, *Rhizostoma pulmo*, *Aequorea forskalea* and *Mnemiopsis leidyi*, were collected in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea) and analysed for metal(loid)s (Me) to assess their bioaccumulation and biomonitoring potential. The species concentrated Me well above the dissolved seawater levels in the order Sr > Zn, Fe > As > Cu > Mn > Se > Ni > Pb > Cd > Mo > Cr > Co > Hg. Species with lower C_{org} tend to have lower concentrations of several Me compared to the species with higher C_{org} content. The essential elements were more variable among species than the content of potentially toxic elements when normalised to C_{org} (Me/C_{org} ratio). The studied species bioaccumulate Me mostly along the pelagic food web consisting primarily of various plankton groups. The Me levels are also the consequence of dissolved Me uptake. Considering the bioconcentration and bioaccumulation factors, jellyfish can be used as a bioindicator/biomonitor of Me in seawater.

Key words: jellyfish, gelatinous plankton, metals, metalloids, northern Adriatic

Unaprjeđenje spoznaja o europskoj plosnatoj kamenici u istočnom Jadranu kroz inicijativu građanske znanosti

Daria, Ezgeta-Balić¹, Ratko, Cvitanić¹, Nikola, Balić^{2,3}, Niko, Bujas¹, Barbara, Zorica¹

¹Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split, Hrvatska, ²Sveučilište u Splitu, Split, Hrvatska, ³Disequi d.o.o., Split, Hrvatska

e-mail adresa: ezgeta@izor.hr

Do danas je nestao velik broj grebena kamenica diljem svijeta, a u Europi su na nekim lokacijama prirodne populacije u lošem stanju ili su u potpunosti nestale. Kod europske plosnate kamenice (*Ostrea edulis*) ovaj pad ponajprije je posljedica prelova te mortaliteta uzrokovanog parazitima. S obzirom na to da kamenice stvaraju biogene grebene koji imaju važnu ekološku ulogu, posljednja dva desetljeća sve je više inicijativa za njihovu obnovu. Iako je europska plosnata kamenica prisutna diljem Jadrana, noviji podaci upućuju na značajan pad brojnosti u sjevernom Jadranu tijekom posljednjih desetljeća. Unatoč postojanju prirodnih populacija, istraživanja u istočnom Jadranu i dalje su ograničena. Novija istraživanja pružila su vrijedne podatke o brojnosti na područjima gdje se kamenice izlovljavaju ramponom, no takva područja obuhvaćaju tek manji dio hrvatskog akvatorija. Zbog velike razvedenosti obale i prostorno neujednačene rasprostranjenosti karakteristične za ovu vrstu, potrebna su opsežnija istraživanja. Kako bi se prikupila recentna i relevantna znanja o rasprostranjenosti vrste u Jadranu, razvijena je internetska platforma građanske znanosti (<https://oesurvey.vercel.app/hr>). Putem razvijene platforme svi zainteresirani građani mogu prijaviti svoja opažanja, uključujući lokaciju, procjenu brojnosti, opis staništa, veličinu te dodati fotografiju. Inicijativa ove građanske znanosti promovira se kroz ronilačke centre, nautičke udruge, zaštićena morska područja, škole te među studentima. Promocija platforme započela je početkom 2026. godine, uz intenziviranje komunikacijskih aktivnosti uoči ljetne sezone, kada se povećava aktivnost na moru. Prikupljeni podaci poslužit će kao temelj za buduća istraživanja i odabir lokacija za detaljnija terenska ispitivanja. Građanska znanost omogućuje prikupljanje podataka na većoj prostornoj skali, dok edukativne aktivnosti ističu ekološku važnost vrste. Projekt tako povezuje znanstvene ciljeve s jačanjem svijesti javnosti i uključivanjem lokalne zajednice u očuvanje autohtonih populacija kamenica.

Ključne riječi: građanska znanost, kamenice, angažman građana, očuvanje kamenica

Enhancing knowledge of flat oyster populations in the eastern Adriatic Sea through citizen science data collection

Daria, Ezgeta-Balić¹, Ratko, Cvitanić¹, Nikola, Balić^{2,3}, Niko, Bujas¹, Barbara, Zorica¹

¹*Institute of Oceanography and Fisheries, Split, Croatia*, ²*University of Split, Split, Croatia*,

³*Disequi d.o.o., Split, Croatia*

e-mail address: ezgeta@izor.hr

Today, many oyster reefs have disappeared worldwide, and in Europe their status is considered poor or even functionally extinct. For the European flat oyster *Ostrea edulis*, this decline is mainly driven by the combined impact of overfishing and the parasitic disease. As oysters form biogenic reefs and play a key ecological role in ecosystem functioning, restoration efforts have been undertaken over the past two decades. *O. edulis* is still present in the Adriatic Sea, but recent data indicate a significant decline in the northern Adriatic over the last decade. Despite the continued presence of natural populations, research in the eastern Adriatic remains limited. Previous research has provided valuable data on abundance in areas where oysters are harvested with beam trawls, but these represent only a small part of Croatian waters. Given the highly indented coastline and patchy distribution of the species, more comprehensive research is needed. To improve knowledge of oyster distribution in the Adriatic, a citizen science online platform has been developed (<https://oesurvey.vercel.app/hr>). Sea users are invited to report sightings of *O. edulis*, including location, abundance estimates, habitat descriptions, approximate size classes and photographs. The initiative is promoted through diving centres, nautical associations, marine protected areas, schools, and students. The campaign started in early 2026, with intensified outreach before the summer season when marine activity increases. The collected data will support future scientific research and help identify sites for targeted surveys. These follow-up studies will use quantitative methods. Citizen science is essential for gathering broad spatial data, while accompanying educational activities will highlight the ecological importance of *O. edulis*. The project therefore combines scientific objectives with strong outreach, aiming to improve ocean literacy and engage local communities in native oyster conservation.

Keywords: citizen science, oysters, citizen engagement, oyster conservation

Raznolikost epibionata male rakovice *Maja crispata* Risso, 1827 u Medulinskom zaljevu

Matej, Čieľ¹, Ljiljana Iveša¹, Neven Iveša², Moira Buršić², Zrinka Ljubešić³

¹Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, ²Fakultet prirodnih znanosti u Puli, Zagrebačka 30, 52100 Pula, ³Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb

e-mail adresa: macief@irb.hr

Mala rakovica (*Maja crispata* Risso, 1827) široko je rasprostranjena vrsta u Atlantskom oceanu te Sredozemnom i Jadranskom moru. Zbog izražene epibioze na cefalotoraksu predstavlja važan mobilni bentoski mikroekosustav infralitorala i potencijalni pokazatelj promjena u obalnim ekosustavima. Ciljevi ovog istraživanja bili su utvrditi sezonske promjene u sastavu i bioraznolikosti epibiontskih zajednica na cefalotoraksu vrste *M. crispata* te ispitati odnos između obraslosti, životnog stadija male rakovice i okolišnih čimbenika na području sjevernog Jadrana. Uzorkovanje vrste *M. crispata* provedeno je od ožujka do srpnja 2025. godine na području Medulinskog zaljeva pomoću mreža stajaćica, a morfološki je određen sastav zajednica epibiontskih makroalgi i beskralješnjaka. Rezultati pokazuju da juvenilne jedinke imaju izraženiji stupanj obraslosti od adultnih, što se povezuje s njihovom manjom pokretljivošću i većom ranjivošću. Također su uočene sezonske fluktuacije u brojnosti i sastavu epibionata. Najzastupljeniji epibionti bile su alge rodova *Dictyota*, *Laurencia* i *Acinetospora*, dok su među beskralješnjacima prevladavali rakovi (Crustacea) i mnogočetinaši (Polychaeta). Zaključno, rezultati potvrđuju da vrsta *M. crispata* ima važnu ulogu mobilnog mikroekosustava infralitorala te može služiti kao pokazatelj stanja bioraznolikosti i ekoloških promjena u obalnim područjima Jadranskog mora.

Ključne riječi: *Maja crispata*, Medulinski zaljev, epibionti, mobilni ekosustav

Epibiont diversity of the lesser crab *Maja crispata* in Medulin Bay

Matej, Čieľ¹, Ljiljana, Iveša¹, Neven, Iveša², Moira, Buršić², Zrinka, Ljubešić³

¹Ruđer Bošković Institute, Center for Marine Research, G. Paliaga 5, 52210 Rovinj, ²Faculty of Natural Sciences in Pula, Zagrebačka 30, 52100 Pula³Faculty of Science, University of Zagreb, Roosevelt Square 6, 10000 Zagreb

e-mail adress: macieľ@irb.hr

The lesser crab (*Maja crispata* Risso, 1827) is a widely distributed species in the Atlantic Ocean, as well as in the Mediterranean and Adriatic Seas. Due to the pronounced epibiosis on its cephalothorax, it represents an important mobile benthic microecosystem of the infralittoral zone and a potential indicator of changes in coastal ecosystems. The aims of this study were to determine seasonal changes in the composition and biodiversity of epibiotic communities on the cephalothorax of *M. crispata* and to examine the relationship between fouling intensity, the life stage of the crab, and environmental factors in the northern Adriatic Sea. Sampling of *M. crispata* was conducted from March to July 2025 in the Medulin Bay area using gillnets, and the composition of epibiotic macroalgal and invertebrate communities was identified morphologically. The results showed that juvenile individuals exhibited a higher degree of fouling than adults, which is associated with their lower mobility and greater vulnerability. Seasonal fluctuations in the abundance and composition of epibionts were also observed. The most abundant epibionts were algae belonging to the genera *Dictyota*, *Laurencia*, and *Acinetospora*, while crustaceans (Crustacea) and polychaetes (Polychaeta) predominated among the invertebrates. In conclusion, the results confirm that *M. crispata* plays an important role as a mobile infralittoral microecosystem and may serve as an indicator of biodiversity status and ecological changes in coastal areas of the Adriatic Sea.

Keywords: *Maja crispata*, Medulin Bay, epibionts, mobile ecosystem

Utjecaj klimatskih promjena na dinamiku populacije inćuna i srdela te njihovo gospodarenje u Jadranu

Vjekoslav, Tičina¹

¹*Institute of oceanography and fisheries – Split, CROATIA*

e-mail adresa: ticina@izor.hr

Jadransko more kao najplići dio Sredozemnog mora, jedno je od morskih područja koja se najbrže zagrijavaju. Sintezom postojećih znanstvenih spoznaja utvrđeno je da klimatske promjene rezultiraju porastom temperature mora, uzrokujući promjene u dinamici populacija inćuna i srdela, a koje dovode do bržeg rasta ali i manjih veličina riba. Stoga su parametri rasta inćuna i srdela koji se koriste u tradicionalnim procjenama stokova (tj. K i L_{inf}) drugačiji nego prije, što posljedično utječe i na procjenu njihove prirodne smrtnosti (M). Zagrijavanje mora dovodi i do promjena u ekosustavu Jadranskoga mora, a što se odražava u većoj brojnosti predatora inćuna i srdela. Novopridošli termofilni predatori proširuju svoja područja hranjenja prema sjevernom Jadranu, i povećavaju pritisak na navedene populacije. Također, procjene stoka plavoperajnih tuna (BFT), kao jednog od najvažnijih predatora inćuna i srdela, ukazuju na brzo povećavanje njihove brojnosti i ima značajan utjecaj na navedene populacije u Jadranu. Sve zajedno smanjuje otpornost ovih resursa na eksploataciju u gospodarskom ribolovu, a zbog njihove povećane prirodne smrtnosti uslijed sve intenzivnije predacije. Cilj rada bio je prikazati utjecaj klimatskih promjena na dinamiku populacija inćuna i srdela u Jadranskom moru te raspraviti potrebu primjene ekosustavnog pristupa u gospodarenju ovim resursima. Tradicionalni modeli procjene samo jedne vrste ne mogu uzeti u obzir utjecaj predatora, a što negativno utječe na točnost rezultata. Pravi izazov za trenutno gospodarenje ribarstvom, temeljeno na pristupima/praksama gospodarenja „jednom vrstom“, bit će prelazak na sveobuhvatniji pristup gospodarenja ribarstvom. Uzimajući u obzir klimatske promjene, povećani predacijski pritisak i potrebu za održivim ribarstvom, gospodarenje ribarstvom temeljeno na ekosustavu (EBFM) bi trebalo biti način koji bi u obzir uzimao navedene učinke klimatskih promjena na ove resurse, a s ciljem njegovog očuvanja i održivog korištenja.

Ključne riječi: klimatske promjene, Jadransko more, inćun, srdela, ribarstvo

The impact of climate change on anchovy and sardine population dynamics and their management in the Adriatic Sea

Vjekoslav, Tičina¹

¹*Institute of oceanography and fisheries – Split, CROATIA*

e-mail address: ticina@izor.hr

The Adriatic Sea, as the shallowest part of the Mediterranean Sea, is one of the fastest warming sea areas. Current scientific knowledge indicates sea temperature increase, driven by climate change, causing changes in the dynamics of anchovy and sardine populations, leading to faster growth but also smaller fish sizes. Therefore, the growth parameters of anchovy and sardine used in traditional stock assessments (i.e. K and L_{inf}) are different than before, which consequently affects their natural mortality (M) assessment. Sea warming also leads to ecosystem's changes in the Adriatic Sea, which is reflected in the greater abundance of anchovy and sardine predators. Newly arrived thermophilic predators are expanding their feeding ground northward, in the northern Adriatic, increasing the pressure on these populations. In addition, stock assessments of bluefin tuna (BFT), as one of the most important predators of anchovy and sardine, show BFT abundance is rapidly increasing and has a significant impact on these forage species. Taken together, this reduces the resilience of these resources to commercial fishery, because of significantly increased predation pressure. The aim of this study is to show climate change effects on anchovy and sardine population dynamics in the Adriatic Sea and discuss the need for ecosystem-based management of these resources. Traditional models for assessing only one species are unable to consider the impact of predators, which negatively affect the accuracy of the results. The real challenge for current fisheries management, based on traditional "single-species" approaches/practices, will be the transition to a more comprehensive approach. Considering climate change effects, increased predation pressure and the need for sustainable fishery, the Ecosystem-Based Fisheries Management (EBFM) is a suggested option which could consider the effects of climate change on these resources, with the aim of its overall conservation and sustainable use.

Keywords: climate change, Adriatic Sea, anchovy, sardine, fishery

Mikrobiom glavatih želvi u Jadranskom moru: utjecaj okolišnih čimbenika i značaj za očuvanje

Sunčica, Bosak¹, Romana, Gračan¹, Lucija, Kanjer¹ Maja, Mucko¹, Marta, Žižek¹, Klara, Filek¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Biološki odsjek, Horvatovac 102a
10000 Zagreb, Hrvatska*

e-mail adresa: suncica.bosak@biol.pmf.hr

Morske su kornjače odavno poznate kao stanište brojnih i raznolikih mikroba koji žive na njihovim oklopima i koži te unutar njihovog probavnog sustava. Neki od tih mikroorganizama mogu biti visoko specijalizirani za određena staništa te ih nalazimo isključivo na pripadnicima morske megafaune, ali mogu biti i oportunistički te ih nalazimo i drugdje u okolišu. Glavni fokus naših istraživanja bio je okarakterizirati mikrobne zajednice pronađene kako u vanjskim (koža i oklop) tako i u unutarnjim (kloaka, usna šupljina) staništima strogo zaštićene vrste životinja, glavate želve (*Caretta caretta*) kao domaćina te istražiti utjecaj okolišnih čimbenika na sastav i dinamiku mikrobni zajednica. Istraživanje je provedeno od 2018. do 2023. godine u sklopu HRZZ projekta TurtleBiome, u kojem smo prikupili uzorke 126 jedinki s šest lokaliteta, uglavnom u Jadranskom moru (Pula, Vis i Lošinj u Hrvatskoj, Bari u Italiji te Amvrakikos zaljev i Retimno u Grčkoj), te njihov mikrobiom analizirali pomoću molekularnih i morfoloških metoda. Cilj nam je bio opisati prokariotske i mikroeukariotske zajednice, s posebnim naglaskom na dijatomeje, cijanobakterije i gljive. Također smo izolirali i okarakterizirali 196 sojeva dijatomeja i 10 sojeva cijanobakterija od kojih je 19 sojeva dijatomeja zatim korišteno za istraživanje njihovih pridruženih bakterijskih zajednica pristupima kultivacije i metagenomike. Naša multidisciplinarna istraživanja i objavljeni rezultati pružili su cjelovit uvid u endo- i epimikrobiotu glavate želve, otkrivajući visoku bioraznolikost, različite razine povezanosti s domaćinom, lokalnu biogeografiju mikroorganizama povezanih s morskim kornjačama te značajan utjecaj antropogenih čimbenika na mikrobne zajednice.

Ključne riječi: *Caretta caretta*, bakterije, cijanobakterije, dijatomeje, gljive

Loggerhead sea turtle microbiome in the Adriatic Sea: influence of environmental factors and importance for conservation

Sunčica, Bosak¹, Romana, Gračan¹, Lucija, Kanjer¹ Maja, Mucko¹, Marta, Žižek¹, Klara, Filek¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Biološki odsjek, Horvatovac 102a
10000 Zagreb, Hrvatska*

e-mail address: suncica.bosak@biol.pmf.hr

Sea turtles have long been known as a habitat for numerous and diverse microorganisms that live on their skins and shells as well as within their gut. Some of these microorganisms may be highly specialized for specific habitats and are found exclusively on marine megafauna, while others may be opportunistic and found elsewhere in the environment. The main focus of our research was to characterize microbial communities found in both external (skin and shell) and internal (cloaca, oral cavity) habitats of the strictly protected loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) as a host, and to investigate the influence of environmental factors on the composition and dynamics of its microbial communities. The research was conducted from 2018 to 2023 within the HRZZ TurtleBiome project, during which we collected samples from 126 individuals from six locations, mostly in the Adriatic Sea (Pula, Vis, and Lošinj in Croatia, Bari in Italy, and Amvrakikos Bay and Rethymno in Greece), and analyzed their microbiome using molecular and morphological methods. Our aim was to describe prokaryotic and microeukaryotic communities, with special emphasis on diatoms, cyanobacteria, and fungi. We also isolated and characterized 10 cyanobacterial strains and 196 diatom strains, of which 19 diatom strains were then used to investigate their associated bacterial communities through cultivation and metagenomics approaches. Our multidisciplinary research and published results provide an integrative overview of loggerhead turtle endo- and epimicrobiota, revealing high microbial diversity, variable levels of host fidelity, pronounced local biogeographic structuring of turtle-associated microorganisms, and a marked influence of anthropogenic stressors on these communities.

Keywords: *Caretta caretta*, bacteria, cyanobacteria, diatoms, fungi

Pojave sluzi u sjevernom Jadranu 2024. godine, s fokusom na procese mikrobne petlje

Andrea, Budiša^{1,2}, Paolo, Paliaga², Niki, Simonović³, Mirjana, Najdek⁴,
Irena, Ciglencečki³

¹Nizozemski institut za ekologiju (NIOO-KNAW), Droevendaalsesteeg 10, 6708 PB Wageningen, Nizozemska, ²Fakultet prirodnih znanosti u Puli, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Zagrebačka 30, 52100 Pula – Pola, Hrvatska, ³Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska, ⁴Centar za istraživanje mora, Rovinj-Rovigno, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska

e-mail adresa: andrea.budisa.ab@gmail.com

Cvjetanje mora je prirodna pojava sluzavih agregata organske tvari na površini mora koji su nakon više od desetljeća odsutnosti ponovno zabilježeni u tri kraće epizode u ljeto 2024. u sjeveroistočnom Jadranu. Povijesno gledano, fenomen se povezuje s prekomjernim unosom hranjivih tvari iz slatkovodnih pritoka što omogućava proliferaciju mikroalgi, a uslijed čega dolazi do prekomjernog oslobađanja egzopolimera. No, od posebno intenzivnih epizoda cvjetanja zabilježenih 90-ih godina, naporima upravljanja emisijama smanjili su opterećenje sustava hranjivim tvarima, što potvrđuje i trend postepene oligotrofikacije. S obzirom na trenutne uvjete te prateće globalno zagrijavanje, odlučili smo ispitati kako generirana sluz utječe na brojnost mikroorganizama i organsku tvar, i to mjerenjem hidrografskih uvjeta, prikupljanjem uzoraka za analizu prokariota, heterotrofnih nanoflagelata i organske tvari. Velike količine površinski aktivne otopljene i čestične organske tvari omogućile su formiranje organske matrice bogate polisaharidima – prikladnog staništa za ciljane mikroorganizme, a čije su brojnosti bile reda veličine više od dugoročnog prosjeka, onih zabilježenih uslijed nakupina želatinoznog planktona i drugih eutrofnih fenomena. Epizode cvjetanja iz 2024. mogle bi nagovještati promjene režima u sjevernom Jadranu, s ciklusima hiperprodukcije organske tvari koji sve više oblikuju mikrobne procese pod utjecajem rastućih temperatura, obilnog donosa tvari rijekama i snažne stratifikacije. Povećana brojnost mikroorganizama u agregatima ukazuje na intenzivnu obradu organske tvari, što vjerojatno doprinosi transformaciji agregata i njihovog zadržavanja na površini. Međutim, relativno kratko vrijeme postojanosti agregata (tjedni, u usporedbi s ranije zabilježenom mjesecima-dugom prisutnošću) je vjerojatno posljedica kombiniranog učinka mikrobne aktivnosti, hidrografskih uvjeta, obrazaca vjetrova, polimerizacije agregata i riječnog donosa.

Ključne riječi: Sluzave nakupine, Jadransko more, brojnost mikrobne zajednice, organska tvar

The 2024 mucilage outbreak in the northern Adriatic, with microbial loop processes in focus

Andrea, Budiša^{1,2}, Paolo, Paliaga², Niki, Simonović³, Mirjana, Najdek⁴,
Irena, Ciglencečki³

¹Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Droevendaalsesteeg 10, 6708 PB Wageningen, the Netherlands, ²Faculty of Natural Sciences, University Jurja Dobrile of Pula, Zagrebačka 30, 52100 Pula – Pola, Croatia, ³Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Croatia, ⁴Center for Marine Research, Ruđer Bošković Institute, Rovinj-Rovigno, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Croatia

e-mail address: andrea.budisa.ab@gmail.com

Mucilages are naturally occurring, slurry-like aggregates of organic matter at the sea surface that, after more than a decade of absence, have reappeared during three comparably short episodes in the summer of 2024 in the northeastern Adriatic. Historically, they were linked to superfluous freshwater nutrient inputs, leading to microalgal proliferation and, consequently, excessive exopolymer release. But since particularly intense episodes in the 90s, management efforts have reduced the nutrient loads, with evidence of steady oligotrophication. Given the current conditions and ongoing global warming, we have decided to examine how mucilage affects microbial abundances and organic matter by measuring hydrographic conditions, sampling for prokaryotes, heterotrophic nanoflagellates, and conducting organic matter analysis. Large quantities of surface-active dissolved and particulate organic matter fostered polysaccharide-rich matrices that served as ideal habitats for sampled microbes, which reached abundances of an order of magnitude above long-term means, gelatinous plankton accumulations, and other eutrophic phenomena. The 2024 episodes may signal a regime shift in the northern Adriatic, with cycles of organic matter hyperproduction increasingly shaping microbial processes under rising temperatures, extensive river discharge, and strong stratification. Elevated microbial abundances in aggregates indicate intensified organic matter digestion, likely contributing to aggregate transformation and surface persistence. But their relatively short residence time (weeks, compared to the earlier-reported month-long presence) is likely due to the combined effects of microbial processing, hydrographic forcing, wind patterns, aggregate polymerization, and riverine inputs.

Keywords: Mucilage, Adriatic Sea, Microbial abundance, Organic matter

Sezonska dinamika mikrobioma u boćatom priobalnom jezeru (Palud, Istra): voda naspram sedimenta u kontekstu klimatskih promjena

Željko, Pavlinec¹, Paolo, Paliaga², Marija, Mladinić¹, Neven, Iveša², Andrea, Budiša², Milena, Mičić¹

¹Laboratorij za mikrobiologiju i molekularnu biologiju, Aquarium Pula d.o.o., Riva 12, 52100 Pula, Hrvatska, ²Fakultet prirodnih znanosti u Puli, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Hrvatska

e-mail adresa: zeljko.pavlinec@aquarium.hr

Palud je priobalna močvara smještena na sjeveroistočnoj obali Jadrana, povezana s morem umjetnim kanalom, osjetljiva na klimatski uvjetovane promjene temperature, oborina i plimnih cirkulacija, pri čemu sezonski oscilira između boćatih i hiperhalinih uvjeta. Kako bismo uspostavili polazište za razumijevanje njezine sezonske mikrobne dinamike, sekvencirali smo V4-V5 regiju 16S rRNA gena iz uzoraka vode i sedimenta prikupljenih na tri močvarne postaje te more kao referencu, u ljeto, jesen i zimu. Po sezoni je analizirano 9 uzoraka vode i 9 uzoraka sedimenta. Sekvence su obrađene analitičkim postupkom DADA2 i klasificirane prema bazi SILVA 138.2. Taksonomski sastav je uspoređen među sezonama, odvojeno za vodu i sediment, na svim taksonomskim razinama te na razini amplikon-sekvencijskih varijanti (ASV; 20 najzastupljenijih po razini; Kruskal-Wallis test uz BH korekciju). Rezultati su pokazali temeljno različite obrasce između vode i sedimenta. Vodene zajednice bile su izrazito sezonske, 95% najzastupljenijih ASV-ova i 90% najzastupljenijih rodova značajno se razlikovalo, uz uočljivu sukcesiju od ljetne zajednice bogate porodicama Litorivicinaceae i Microbacteriaceae, preko jeseni s dominacijom Flavobacteriaceae i Cryomorphaceae, do zime obogaćene porodicama Comamonadaceae, Methylophagaceae i redom Rhodobacterales (*Lentibacter*, *Yoonia*). Cyanobacteriota i SAR11 Pelagibacterales neočekivano su imale maksimum zimi, dok je *Synechococcus* CC9902 vrhunac postigao ljeti. Nasuprot tome, sedimentne zajednice su pokazale visoku stabilnost, samo 0–10% najzastupljenijih taksona se značajno mijenjalo, a dominantna koljena (Pseudomonadota, Chloroflexota, Thermodesulfobacteriota) nisu pokazala sezonsku promjenu. Ova suprotstavljena dinamika, izrazito ciklična vodena zajednica naspram stabilnog sedimentnog mikrobioma, upućuje na vodeni stupac kao osjetljiviji i informativniji dio sustava za praćenje klimatski uvjetovanih sezonskih promjena u priobalnim boćatim ekosustavima.

Ključne riječi: 16S rRNA metabarkodiranje, boćato jezero, sezonska sukcesija mikroba, sedimentne mikrobne zajednice, klimatske promjene

Seasonal microbial dynamics in a brackish coastal lake (Palud, Istria): water vs. sediment in a climate-change context

Željko, Pavlinec¹, Paolo, Paliaga², Marija, Mladinić¹, Neven, Iveša², Andrea, Budiša²,
Milena, Mičić¹

¹Laboratory for microbiology and molecular biology, Aquarium Pula d.o.o., Riva 12, 52100 Pula, Croatia, ²Faculty of Natural Sciences, Juraj Dobrila University of Pula, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Croatia

e-mail address: zeljko.pavlinec@aquarium.hr

Palud is a coastal marsh located on the northeastern Adriatic coast, connected to the sea through an artificial channel, sensitive to climate-driven changes in temperature, precipitation, and tidal circulation, while seasonally oscillating between brackish and hypersaline conditions. To establish a baseline for its seasonal microbial dynamics, we sequenced the V4-V5 region of the 16S rRNA gene from water and sediment samples collected at three marsh stations, with the sea as a reference, in summer, autumn, and winter. Per season, 9 water and 9 sediment samples were analysed. Sequences were processed using the DADA2 pipeline and classified against the SILVA 138.2 database. Taxonomic composition was compared among seasons separately for water and sediment, across all taxonomic ranks at amplicon sequence variant (ASV) level (top-20 per rank; Kruskal–Wallis with BH correction). Results revealed fundamentally different patterns between water and sediment. Water communities were highly seasonal, with 95% of the most abundant ASVs and 90% of the most abundant genera differing significantly, showing a clear succession from a summer community rich in Litorivicinaceae and Microbacteriaceae, through an autumn dominated by Flavobacteriaceae and Cryomorphaceae, to a winter enriched in Comamonadaceae, Methylophagaceae and the order Rhodobacterales (*Lentibacter*, *Yoonia*). Cyanobacteriota and SAR11 Pelagibacterales unexpectedly peaked in winter, whereas *Synechococcus* CC9902 peaked in summer. In contrast, sediment communities showed high stability, with only 0–10% of the most abundant taxa changing significantly, and the dominant phyla (Pseudomonadota, Chloroflexota, Thermodesulfobacteriota) showing no seasonal variation. These contrasting dynamics, a strongly cyclical water community versus a stable sediment microbiome, indicate the water column as a more sensitive and informative system component for tracking seasonal climate-driven changes in coastal brackish ecosystems.

Keywords: 16S rRNA metabarcoding, brackish lake, seasonal microbial succession, sediment microbial community, climate change

Kvaliteta kamenica iz Limskog zaljeva (*Ostrea edulis* vs *Magallana gigas*) i recentni izazovi

Bojan, Hamer¹, Kristina, Grozić¹, Luca, Privileggio¹, Dijana, Pavičić-Hamer¹, Anđela, Premzl², Danijela, Poljuha³, Maja, Maurić Maljković⁴, Tibor, Janči⁵

¹Centar za istraživanje mora, Institut Ruđer Bošković, Rovinj, Hrvatska; ²Centar za razvoj ribarstva i akvakulture Istarske županije (CERRA) Rovinj, Hrvatska; ³Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč, Hrvatska; ⁴Zavod za uzgoj životinja i stočarsku proizvodnju, Veterinarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska; ⁵Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

e-mail address: bojan.hamer@irb.hr

Limski zaljev je važno i poznato područje uzgoja školjkaša na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini za europsku plosnatu kamenicu *Ostrea edulis* Linnaeus, 1758 i mediteransku dagnju *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. Kamenice iz Limskog zaljeva vrhunski su proizvod za kojim potražnja na tržištu stalno raste, ali ju je teško u potpunosti zadovoljiti. To zahtijeva dodatni trud i pažnju usmjerenu na kvalitetu kamenica, prevenciju bolesti, smanjenje gubitaka u proizvodnji te očuvanje profitabilnosti. Kako bismo promicali lokalnu proizvodnju i kvalitetu kamenica, pratili smo uvjete u okolišu CTD sondom u Limskom zaljevu, indeks kondicije i udio mesa, smrtnost, osnovni nutritivni sastav i profil masnih kiselina uzgajane autohtone vrste *O. edulis* i alohtone, brojne divlje vrste *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) na vrhuncu kvalitete (ožujak/travanj) i na kraju turističke sezone (rujan/listopad 2025.). Zbog izostanka značajnih razlika ($p > 0,05$) u indeksu kondicije i udjelu mesa između vrsta *O. edulis* i *M. gigas*, uz uočeno ograničeno odstupanje u osnovnom nutritivnom sastavu i profilima masnih kiselina, obje vrste pokazale su povoljan nutritivni sastav koji odražava povoljne uvjete u okolišu. Međutim, nakon ljetnog razdoblja (temperature mora $>27^{\circ}\text{C}$), uočena je veća kumulativna smrtnost od travnja do rujna kod vrste *O. edulis* (35–45%) u usporedbi s vrstom *M. gigas* (5–15%). Kako bismo održali proizvodnju domaćeg vrhunskog brenda „limske oštrige“ *O. edulis*, s obzirom na to da česti ljetni toplinski valovi predstavljaju dodatnu prijetnju, kao mjere ublažavanja predlažemo karakterizaciju termotolerancije populacija, daljnje praćenje uvjeta u okolišu, povećanje matičnog stoka i iskorjenjivanje divlje populacije *M. gigas* duž obala Limskog zaljeva.

Ključne riječi: klimatske promjene, marikultura, kvaliteta kamenica, alohtone vrste, Limski zaljev

Lim Bay oysters (*Ostrea edulis* vs *Magallana gigas*) quality and recent production challenges

Bojan, Hamer¹, Kristina, Grozić¹, Luca, Privileggio¹, Dijana, Pavičić-Hamer¹, Anđela, Premzl², Danijela, Poljuha³, Maja, Maurić Maljković⁴, Tibor, Janči⁵

¹Center for Marine Research, Ruđer Bošković Institute, Rovinj, Croatia; ²Center for fisheries and aquaculture development of Region of Istria (CERRA), Rovinj, Croatia; ³Institute of Agriculture and Tourism, Poreč, Croatia; ⁴Department of Animal Breeding and Livestock Production, Faculty of Veterinary Medicine, University of Zagreb, Croatia; ⁵Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Zagreb, Croatia.

e-mail adresa: bojan.hamer@irb.hr

Lim Bay is an important and well-known shellfish production area at the local, regional, and national levels for European flat oysters *Ostrea edulis* Linnaeus, 1758 and Mediterranean mussels *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819. Lim Bay oysters are a premium product with growing market demand that is difficult to fully meet. This requires increased effort and attention to oyster quality, disease prevention, production losses, and overall profitability. To promote local production and oyster quality, we monitored environmental conditions by CTD probe and compared the condition index and meat yield, mortality, proximate nutritive content, fatty acid profiles of maricultured domestic *O. edulis* and the non-indigenous, abundant wild *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) species: (i) at the peak of quality (March/April) and (ii) at the end of the tourist season (September/October 2025) in Lim Bay. Given the lack of significant differences ($p > 0.05$) in condition index and meat yield between *O. edulis* and *M. gigas*, along with the limited variation observed in proximate nutritive content and fatty acid profiles, both species demonstrate high value as seafood products and reflect favorable environmental conditions. However, substantially higher cumulative mortality in *O. edulis* (35–45%) compared to *M. gigas* (5–15%) during the April to September period, particularly following summer hot periods with sea temperatures exceeding 27°C, highlights its lower tolerance to thermal stress. To maintain the domestic production of premium oyster *O. edulis* „limska oštriga“, as frequent summer heat waves pose a threat, we propose stock thermotolerance characterization, further environmental conditions monitoring, increasing broodstock and eradicating the wild *M. gigas* population along the coasts of Lim Bay as mitigation measures.

Keywords: climate change, mariculture, oyster quality, non-indigenous species, Lim Bay

Ravnoteža selena i žive u uzgojenoj i divljoj plavoperajnoj tuni iz hrvatskog dijela Jadranskog mora

Marija, Sedak¹, Nina, Bilandžić¹, Jelena, Kaurinović¹, Ivana, Varenina¹, Maja, Đokić¹, Đurđica, Božić Luburić¹, Božica, Solomun Kolanović¹, Irena, Žarković¹, Bruno, Čalopek¹

¹ Hrvatski veterinarski institut, Savska 143, 10000 Zagreb, Hrvatska

e-mail adresa: sedak@veinst.hr

Živa (Hg) je dobro poznat toksični element široko rasprostranjen u okolišu, s povišenim razinama u Sredozemnom moru, gdje prirodna ležišta cinabarita doprinose njezinoj prisutnosti. Bioakumulacija Hg u ribama predstavlja značajan problem, osobito kod vršnih predatora u vodenim ekosustavima, a posebnu zabrinutost izaziva kod vrsta koje se često konzumiraju u ljudskoj prehrani i odlikuju se visokom nutritivnom vrijednošću. S druge strane, selen (Se) je esencijalni element u tragovima nužan za sintezu selenoproteina, koji imaju ključnu ulogu u antioksidativnoj zaštiti, regulaciji funkcije štitnjače i održavanju stanične homeostaze. Cilj ovog istraživanja bio je odrediti koncentracije Hg i Se u uzgojenoj i divljoj plavoperajnoj tuni (*Thunnus thynnus*) ulovljenoj u hrvatskom dijelu Jadranskog mora kako bi se procijenila razina bioakumulacije Hg. Sadržaj Se također je određen jer ovaj element djeluje kao antagonist toksičnosti žive. Hg je analiziran pomoću direktnog analizatora žive, dok je Se određen metodom masene spektrometrije s induktivno spregnutom plazmom (ICP-MS) nakon mikrovalne digestije uzoraka. Sadržaj Hg u uzgojenoj tuni bio je kod svih jedinki ispod zakonski propisane granice (1,0 mg/kg, mokra masa, w.w.) te je iznosio $0,307 \pm 0,0510$ mg/kg, dok su divlji primjerci zabilježili vrijednosti iznad dopuštene granice ($2,10 \pm 0,574$ mg/kg). Koncentracije Se također su bile više u divljim tunama ($1,17 \pm 0,857$ mg/kg) u usporedbi s uzgojenima ($0,705 \pm 0,327$ mg/kg). Morski plodovi općenito se smatraju sigurnima kada omjer Se/Hg prelazi 1 i kada je vrijednost zdravstvene koristi selena (HBVSe) pozitivna. U ovom istraživanju uzgojena tuna pokazala je više vrijednosti u odnosu na divlje primjerke, s omjerima Se/Hg od 5,87 prema 1,46 te vrijednostima HBVSe od 7,62 prema 5,44. Ovi rezultati ukazuju da uzgojena *T. thynnus*, s obzirom na izloženost Hg, ima povoljniji omjer rizika i koristi od divljih primjeraka, što je čini sigurnijom za konzumaciju u odnosu na divlju tunu.

Ključne riječi: Živa, selen, Se/Hg molarni omjer, tuna, Jadransko more

Selenium-mercury balance in Farmed and Wild Bluefin Tuna from the Croatian part of the Adriatic Sea

Marija, Sedak¹, Nina, Bilandžić¹, Jelena, Kaurinović¹, Ivana, Varenina¹, Maja, Đokić¹, Đurđica, Božić Luburić¹, Božica, Solomun Kolanović¹, Irena, Žarković¹, Bruno, Čalopek¹

¹ Croatian Veterinary Institute, Savska 143, 10000 Zagreb, Croatia

e-mail address: sedak@veinst.hr

Mercury (Hg) is a well-known toxic element widely distributed in the environment, with elevated levels in the Mediterranean Sea, where natural cinnabar deposits contribute to its presence. Bioaccumulation of Hg in fish is a significant concern, particularly in apex aquatic predators and, more importantly, in species widely consumed by humans and with high nutritional value. In contrast, selenium (Se) is an essential trace element required for the biosynthesis of selenoproteins, which play a central role in antioxidant defence, regulation of thyroid function, and maintenance of cellular homeostasis. This study aimed to determine Hg and Se concentrations in farmed and wild Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) caught in the Croatian part of the Adriatic Sea to evaluate the level of Hg bioaccumulation. Se content was also determined, as this element is an antagonist of mercury toxicity. Hg was analysed using a Direct Mercury Analyser, while Se was determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) following microwave digestion of the samples. Hg content in farmed tuna was below the legal limit (1,0 mg/kg, wet weight, w.w.) for all individuals (0.307 ± 0.0510 mg/kg), whereas wild specimens had a content above the limit (2.10 ± 0.574 mg/kg); Se concentrations were also higher in wild specimens (1.17 ± 0.857 mg/kg) than in farmed individuals (0.705 ± 0.327 mg/kg). A seafood product is generally considered safe when the Se/Hg ratio exceeds 1 and the Selenium Health Benefit Value (HBVSe) is positive. In this study, farmed tuna exhibited higher values than wild specimens, with Se/Hg ratios of 5.87 versus 1.46 and HBVSe values of 7.62 versus 5.44, respectively. These results indicate that, in terms of Hg exposure, farmed *T. thynnus* has a more favourable risk–benefit profile than wild specimens, making it safer than wild tuna.

Keywords: Mercury, Selenium, Se/Hg molar ratio, tuna, Adriatic Sea

Praćenje parazitarnih bolesti kod uzgajane ribe u skladu s promjenama temperature mora

Slavica, Čolak¹, Matko, Kolega², Danijel, Mejđandžić², Toni, Števanja², Šime, Franov², Tijana, Milićević³ Bosiljka, Mustać¹, Ivan, Župan¹, Tomislav, Šarić¹

¹Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska, ²Cromaris d.d., Gaženička cesta 4b, Zadar, Hrvatska, ³Sveučilište u Beogradu, Pregrevica 11811080 Beograd, Srbija

e-mail adresa: scolak21@unizd.hr

Parazitske bolesti vrlo često predstavljaju prepreku uspješnom uzgoju riba. Strategije upravljanja zdravljem u uzgoju u plutajućim morskim kavezima nisu u potpunosti učinkovite u sprječavanju ulaska parazita. Razumijevanje biologije parazita ključno je za razvoj novih alata za kontrolu i za učinkovito planiranje mjera. Protokol se mora poboljšati kako bi se prekinuo životni ciklus parazita. Paraziti optimalno funkcioniraju unutar evoluiranog temperaturnog raspona. Za one parazite kod kojih porast temperature ne prelazi njihove letalne granice, možemo očekivati da će se njihov intenzitet i patologija kod zaraženih jedinki domaćina općenito povećati. Budući da je odnos između rasta riba i parazita složen, poželjnije je pratiti rast i razvoj u uvjetima uzgoja pomoću stupnjeva dana (DD) nego se oslanjati na trenutnu temperaturu. Kako bismo dodatno ilustrirali ove koncepte, prikazat ćemo procjenu vremena početne spolne zrelosti i plodnosti jednakonožnog račića *Ceratothoa oestroides* i dinamiku povećanja brojnosti jednorodnog metilja *Zeuxapta seriolae* korištenjem DD-a kao mjere termalnog vremena. Pokazalo se da su DD-i koristan prediktivni alat za procjenu vremena prve reproduktivne zrelosti i plodnosti *C. oestroides*. Odnos između DD-a, veličine parazita i plodnosti sugerira da bi DD mogao biti koristan alat za predviđanje razvoja i reproduktivne aktivnosti populacija parazita. Primjena okvira DD u slučaju *Z. seriolae* otkriva snažan i nelinearan porast opterećenja parazitima, s porastom broja otprilike 2,1 puta na 100 DD. Ovaj nalaz uspostavlja termalno vrijeme ne samo kao deskriptivnu varijablu, već i kao prediktivni alat za predviđanje dinamike infekcije. Plan zaštite zdravlja riba trebao bi uvrstiti klimatske promjene kao glavni ekološki izazov i uključiti termo-vremenske modele za poboljšanje predviđanja infekcija parazitima i ishoda liječenja, uzimajući u obzir temperaturno ovisan razvoj i životni ciklus parazita.

Ključne riječi: paraziti, stupanj dani, marikultura

Monitoring parasitic diseases in farmed fish in accordance with changes in sea temperature

Slavica, Čolak¹, Matko, Kolega², Danijel, Mejdandžić², Toni, Števanja², Šime, Franov², Tijana, Milićević³ Bosiljka, Mustać¹, Ivan, Župan¹, Tomislav, Šarić¹

¹Sveučilište u Zadru, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska, ²Cromaris d.d., Gaženička cesta 4b, Zadar, Hrvatska, ³University of Belgrade, Pregrevica 11811080 Belgrade, Srbija

e-mail address: scolak21@unizd.hr

Parasitic diseases are a frequent obstacle to successful fish farming. Health management strategies in floating sea cage farming are not fully effective at preventing parasite entry. Understanding parasite biology is essential for developing new control tools and for planning interventions effectively. The protocol must be improved to interrupt the parasite life cycle. Parasites function optimally within a defined temperature range. For parasites whose temperature tolerance is not exceeded, we can expect their intensity and pathology in infected hosts to generally increase. Since the relationship between fish growth and parasites is complex, it is preferable to monitor growth and development under culture conditions using degree-days (DD) rather than relying on instantaneous temperature. To illustrate these concepts, we present estimates of the time to initial sexual maturity and fecundity of the isopod shrimp *Ceratothoa oestroides*, and the dynamics of the increase in abundance of the unisexual fluke *Zeuxapta seriola*, using DD as a measure of thermal time. DD are a useful tool for predicting the time to first reproductive maturity and fecundity in *C. oestroides*. The relationship between DD, parasite size and fecundity suggests that DD could be a useful tool for predicting the development and reproductive activity of parasite populations. Application of DD framework to *Z. seriola* reveals a strong, nonlinear increase in parasite burden, with numbers increasing by approximately 2.1-fold per 100 DD. This finding establishes thermal weather not only as a descriptive variable but also as a predictive tool for infection dynamics. Fish health protection plans should recognise climate change as a major ecological challenge and incorporate thermo-weather models to improve predictions of parasite infections and treatment outcomes, accounting for temperature-dependent parasite development and life cycles.

Keywords: parasites, degree days, mariculture

Onečišćenje plastikom u Srednjem Jadranu i njezina prisutnost na različitim lokacijama i organizmima

Vlatka, Filipović Marijić¹, Martina, Ugrinović¹, Davor, Merkaš¹, Damir, Valić¹, Fabio, Faraguna², Kristina, Pikelj³

¹*Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska,* ²*Sveučilište u Zagrebu Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Trg Marka Marulića 19, 10000 Zagreb, Hrvatska*

³*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Horvátovac 102a, 10000 Zagreb, Hrvatska*

e-mail adresa: vfilip@irb.hr

Onečišćenje plastikom postaje zabrinjavajuće za vodene ekosustave, posebno poznavajući njezinu široku rasprostranjenost, sporu razgradnju i raspadanje na mezo-, mikro- i nanoplastiku. Male čestice plastike služe kao vektori za druge onečišćujuće tvari, invazivne vrste i patogene, koje vodeni organizmi mogu unijeti i time dovesti do bioloških promjena i oštećenja. Cilj ovog istraživanja je utvrditi prisutnost i sastav mikroplastike (MP) u morskoj vodi, sedimentu te škragama i probavnom sustavu divljih i uzgojenih dagnji (*Mytilus galloprovincialis*) i orada (*Sparus aurata*) iz Šibenskog zaljeva (Srednji Jadran), poznatom po akvakulturi, turističkim i urbanim aktivnostima. Ukupno 1000 L morske vode propušteno je kroz četiri sita različitih veličina pora, sediment je tretiran s NaCl, a tkiva dagnji i riba razgrađena su 10 mas. % KOH na 40°C tijekom 48 sati te su svi ovi uzorci filtrirani kako bi se izolirala MP i determinirala FT-IR mikroskopijom. Pouzdanost analiza temeljila se na primjeni slijepe probe i komercijalne plastike, te rada sa staklenim posuđem, u zaštitnom kabinetu i laboratorijskoj odjeći. Mikrovlakna su najprije promatrana lupom i svjetlosnom mikroskopijom, čime su potvrđeni različiti oblici i boje, prema veličini i prisutnosti u uzorcima nađeni u slijedu sediment > voda > tkiva, odnosno postajama akvakultura > okoliš. Samo manji dio mikrovlakana bio je polimernog podrijetla (oko 20 %), s većim udjelom prirodnih (uglavnom celuloza) u odnosu na sintetske polimere (uglavnom polistiren, polietilen, poliamidna smola, termički oštećeni polipropilen i polietilen). Općenito, MP je rijetka u tkivima organizama, s većom prisutnosti u probavnoj žlijezdi dagnji i probavnom tkivu riba nego škragama, čime se potvrđuje unos hranom. Ovo istraživanje ukazuje na metodološke izazove analize MP u okolišnim uzorcima, te potvrđuje unos MP u morske školjkaše i ribe te važnost njezinog određivanja u Jadranskom moru.

Ključne riječi: Srednji Jadran, mikroplastika, orade, dagnje, akvakultura

Plastic contamination in the Middle Adriatic Sea and its occurrence in different locations and organisms

Vlatka, Filipović Marijić¹, Martina, Ugrinović¹, Davor, Merkaš¹, Damir, Valić¹, Fabio, Faraguna², Kristina, Pikelj³

¹*Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Croatia,* ²*University of Zagreb Faculty of chemical engineering and technology, Trg Marka Marulića 19, 10000 Zagreb, Croatia*

³*University of Zagreb, Faculty of science, Department of geology, Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, Hrvatska*

e-mail address: vfilip@irb.hr

Plastic contamination is of high concern for the aquatic ecosystems, due to widespread occurrence, slow degradation and breakage into meso-, micro- and nanoplastics. Small plastic particles serve as a vector for pollutants, invasive species, and pathogens, which may be ingested by aquatic organisms, causing biological changes and damage. The aim of the present study is analysis of the occurrence and composition of microplastics (MPs) in marine water, sediment and gills and digestive system of native and farmed mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*) from the Šibenik Bay (Middle Adriatic Sea), known by aquaculture, touristic and urban activities. A total of 1000 L of seawater passed through four sieves of different pore sizes, sediment was treated with NaCl and tissues of mussels and fish were digested by 10 mass % KOH at 40 °C for 48 h, and such prepared samples were filtrated for MP extraction and further determination by FT-IR microscopy. Reliability of analyses was controlled by application of blank samples and commercial plastic, and by work with glassware, in safety cabinet and laboratory wear. Microfibers were firstly observed by stereo and light microscopy, confirming different shapes and colors, based on size and occurrence followed the order sediment > water > tissues, and in locations aquaculture > environment. Only smaller portion of microfibers was of polymer origin (around 20%), with higher portion of natural (mostly cellulose) than synthetic polymers (mostly polystyrene, polyethylene, polyamide resin, thermally damaged polypropylene and polyethylene). Generally, MP particles were rare in tissues, with higher occurrence in digestive gland of mussels and intestinal tissue of fish than gills, confirming dietary uptake routes. Our study pointed to methodological challenges of MP analyses in environmental samples, and also confirmed intake of MPs in bivalves and fish and the importance of MP detection in the Adriatic Sea.

Keywords: Middle Adriatic Sea, microplastics, gilthead seabream, mussels, aquaculture

Uloga neptunovih kuglica u uklanjanju plastike iz mora

Kristina, Pikelj¹, Marija, Meklav¹

¹*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Horvatovac 102b, Zagreb*

e-mail adresa: kpikelj@geol.pmf.hr

Plastične čestice su sveprisutna onečišćujuća tvar u morskom sustavu i njihovo uklanjanje je iznimno teško. Jedan od mehanizama uklanjanja je putem neptunovih kuglica (NK) – okruglastih oblika nastalih od nakupljenih vlakana rizoma u livadama morske cvjetnice *Posidonia oceanica* te valovima izbačenih na obalu. U ovom radu su po prvi puta na hrvatskoj obali analizirane čestice plastike izdvojene iz 607 NK, prikupljenih tijekom više godina na plaži Sakarun (Dugi otok). Nakon razvrstavanja NK prema morfologiji u četiri skupine, istražene su karakteristike svake skupine, uključujući izolaciju plastičnih čestica, mjerenje njihove veličine, definiranje tipa plastike i vrste polimera. Svi dobiveni rezultati uspoređeni su među skupinama, ali i s dostupnom literaturom. Osim analiza plastičnih čestica, provedena je i analiza određivanja veličine zrna i određivanje udjela karbonata na sedimentu izdvojenom iz NK. Rezultati su pokazali da su najučestalije sferične NK, dok je učestalost pojavnosti plastike najveća u skupini diskoidalnih. NK imaju sposobnost prikupljanja frakcije sedimenta < 0,063 mm, što je odraz kretanja po dnu tijekom njihovog nastanka. Ukupno je iz svih NK izolirano 293 čestica plastike s većim udjelom mikroplastike, što ukazuje na zadržavanje i degradaciju plastičnog otpada u moru. Najučestaliji oblici bili su konopi i filament, linije i spužve, a od polimera su najčešći bili polipropilen i polietilen niske gustoće. Ovakav sastav ukazuje na preferirano ugrađivanje vlaknastih čestica plastike, što je u skladu s mehanizmom nastanka NK. Od polimera dominira plastika lakša od morske vode. Obzirom na količinu ostale naplavljene plastike na plaži, NK se ne smatraju značajnim mehanizmom uklanjanja plastike iz morskog okoliša.

Ključne riječi: Dugi otok, plaža, onečišćenje, *Posidonia oceanica*

The role of Neptune balls in removing plastic from the sea

Kristina, Pikelj¹, Marija, Meklav¹

¹*University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology, Horvatovac 102b, Zagreb*

e-mail address: kpikelj@geol.pmf.hr

Plastic particles are a ubiquitous pollutant in the marine environment, and their removal is extremely difficult. One removal mechanism is through Neptune balls (NB) – spherical formations created by the accumulated rhizome fibers in the seagrass meadows of *Posidonia oceanica* and subsequently beached by waves. In this study, for the first time on the Croatian coast, plastic particles isolated from 607 NB collected over several years on Sakarun beach (Dugi otok Island), were analyzed. After classifying NB by morphology into four groups, the characteristics of each group were investigated, including the isolation of plastic particles, measurement of their size and identification of the type of plastic and polymer. All results obtained were compared between groups and with the available literature. In addition to the analysis of plastic particles, grain size and carbonate content of the sediment isolated from NB were also determined. The results showed that spherical NB are the most common, while the frequency of plastic occurrence is highest in the discoidal group. NB can collect sediment fractions < 0.063 mm, reflecting movement on the seabed during their formation. A total of 293 plastic particles, with a higher proportion of microplastics, were isolated from all NB, indicating the retention and degradation of plastic waste in the sea. The most common forms were fibers, filaments, lines, and sponges, while the most common polymers were polypropylene and low-density polyethylene. This composition suggests a preferred incorporation of fibrous plastic particles, consistent with the mechanism of NB formation. The polymers are dominated by plastics lighter than seawater. Considering the amount of other plastic washed up on the beach, NB are not considered a significant mechanism for removing plastic from the marine environment.

Keywords: Dugi otok Island, beach, contamination, *Posidonia oceanica*

Kako djelovati u borbi s klimatskim promjenama: Ključna pitanja prije odluka

Danijela, Mioković

Lussijeva ulica 9, 52100 Pula

e-mail adresa: danimili22@gmail.com

Između regulatornih ciljeva i stvarnog funkcioniranja morskih sustava postoji rastući jaz: pokušavamo li obnoviti ekosustave kakvi su nekada bili ili očuvati njihovu sposobnost da opstanu i funkcioniraju u uvjetima nepovratnih promjena? Jadransko more, u obliku kakvog danas poznajemo, geološki je izrazito mlad sustav čija je bioraznolikost rezultat postglacijalnih promjena, kontinuirane redistribucije vrsta i promjenjivih klimatskih uvjeta. Ovaj prilog predlaže preispitivanje paradigme očuvanja temeljene na povratku „prijašnjeg stanja“ te otvara pitanje treba li fokus zaštite preusmjeriti prema očuvanju funkcija ekosustava. Umjesto statičnog pristupa temeljenog na očuvanju povijesnog sastava vrsta, predlaže se naglasak na produktivnost sustava, stabilnost hranidbene mreže, reproduktivni potencijal i otpornost ključnih staništa. Na primjeru pišmolja (*Merlangius merlangus*), borealne vrste kojoj Jadran predstavlja južnu granicu rasprostranjenosti, možemo vidjeti kako izgleda „tiha klimatska promjena“. Za razliku od sve češće spominjanih termofilnih i invazivnih vrsta, promjene povezane s nestajanjem hladnovodnih vrsta uglavnom ostaju izvan fokusa javnosti i upravljačkih strategija. Predavanje ne nastoji ponuditi jednostavna rješenja, već niz ključnih pitanja koja bi trebala prethoditi donošenju mjera zaštite i obnove: pokušavamo li očuvati stanje ili funkciju ekosustava; razlikujemo li klimatske promjene od lokalnih antropogenih pritisaka; postoje li institucije koje imaju stvarni kapacitet za provedbu mjera; kako definiramo „uspjeh“ u sustavu koji se nepovratno mijenja te mogu li se mjere zaštite dugoročno provoditi ako su u suprotnosti s interesima korisnika prostora i resursa. U vremenu ubrzanih klimatskih promjena možda više nije dovoljno pitati kako vratiti more u prošlost. Važnije pitanje postaje: koje funkcije želimo očuvati kako bi Jadran, iako drukčiji nego danas, i dalje ostao produktivan, stabilan i sposoban podržavati društvo koje o njemu ovisi.

Ključne riječi: klimatske promjene, funkcionalno očuvanje ekosustava, Jadransko more, *Merlangius merlangus*

Taking action on climate change: Key questions before decisions

Danijela, Mioković

Lussijeva 9, 52100 Pula

e-mail address: danimili22@gmail.com

A growing gap exists between regulatory goals and the actual functioning of marine systems: are we trying to restore ecosystems to what they once were, or preserve their ability to survive and function under conditions of irreversible change? The Adriatic Sea, in the form we know today, is a geologically very young system whose biodiversity is the result of postglacial changes, continuous species redistribution, and shifting climatic conditions. This presentation re-examines conservation approaches based on restoring a “previous state” and questions whether the focus should instead shift toward preserving ecosystem functions. Rather than maintaining historical species composition, greater emphasis should be placed on productivity, food-web stability, reproductive potential, and the resilience of key habitats. Using whiting (*Merlangius merlangus*), a boreal species whose southern distribution limit lies in the Adriatic, the presentation illustrates the concept of “silent climate change”. Unlike thermophilic and invasive species, the gradual disappearance of cold-water species largely remains outside the focus of management strategies and public attention. The presentation raises several key questions that should precede conservation and restoration measures: are we preserving ecosystem state or function; do we distinguish climate-driven changes from local anthropogenic pressures; do institutions have the capacity to implement measures; and how should “success” be defined in a system undergoing irreversible change? In a rapidly warming sea, the key challenge may no longer be how to restore the Adriatic of the past, but which ecosystem functions should be preserved so that the Adriatic can remain productive, stable, and capable of supporting society in the future.

Keywords: climate change, functional ecosystem conservation, Adriatic Sea, *Merlangius merlangus*

Od korištenja prirodnih resursa do odgovornosti: Upravljanje morskom vodom u industriji

Biljana, Martinčić¹, Saša, Đurić¹, Dubravko, Pavičić¹

¹*Calucem d.o.o., Revelanteova 4, 52100 Pula, Hrvatska*

e-mail adresa: biljana.martincic@calucem.com

Industrijski sustavi u obalnim područjima djeluju na spoju proizvodne učinkovitosti i osjetljivih morskih ekosustava, gdje je morska voda važan operativni resurs, ali i okoliš koji je potrebno očuvati. Smješten uz obalu Jadranskog mora, Calucem primjenjuje pristup korištenju morske vode u industrijskim procesima koji povezuje energetske učinkovitost i odgovorno upravljanje okolišem. U radu je prikazan sustav hlađenja peći morskom vodom koji koristi prirodna svojstva morske vode za učinkovit prijenos topline. Korištenje morske vode kao prirodnog rashladnog medija uklanja potrebu za alternativnim rashladnim sustavom, rashladnim tornjevima i strojnom opremom, čime se smanjuje potreba za dodatnom potrošnjom električne energije za hlađenje i povezane emisije CO₂. Morska voda zahvaća se putem usisne cijevi smještene na dubini od 1,5 m, pri čemu se na ulazu koristi zaštitna mreža koja sprječava ulazak većih nečistoća. Nakon prolaska kroz rashladni sustav i preuzimanja topline iz procesa, voda se bez kemijske obrade i promjene kemijskog sastava vraća u more. Temperatura ispuštene vode kontrolira se u skladu s uvjetima okolišne dozvole, uz ograničenje do 35 °C pri temperaturi mora iznad 20 °C, čime se ograničava utjecaj na bioraznolikost i morski ekosustav. Procesni i okolišni parametri kontinuirano se prate, uključujući ulaznu temperaturu morske vode koja se sustavno mjeri od 2013. godine. Kvaliteta morske vode prati se osam puta godišnje na usisu i osam puta godišnje na ispustu. Dugoročni podaci ne pokazuju jasan trend porasta ulazne temperature mora, dok se prosječna godišnja temperatura kreće između 17,4 i 18,9 °C. Tvornica dodatno smanjuje svoj okolišni otisak korištenjem sunčane elektrane instalirane snage 421 kW, koja sudjeluje u opskrbi proizvodnog procesa električnom energijom iz obnovljivih izvora. Rad naglašava važnost održivog korištenja prirodnih resursa i primjene održivih industrijskih rješenja u jačanju otpornosti obalnih područja na klimatske promjene.

Ključne riječi: morska voda, industrijski procesi, hlađenje, održivost, Jadransko more

VII. znanstveno-stručni skup Klimatske promjene i očuvanje morskih ekosustava Jadranskog mora, Brijuni 01. do 04. listopad, 2026. / 7th scientific-expert conference Climate change and preservation of marine ecosystems of the Adriatic Sea, Brijuni 01. to 04. October 2026

From the Use of Natural Resources to Responsibility: Marine Water Management in Industry

Biljana, Martinčić¹, Saša, Đurić¹, Dubravko, Pavičić¹

¹*Calucem d.o.o., Revelanteova 4, 52100 Pula, Hrvatska*

e-mail address: biljana.martincic@calucem.com

Industrial systems in coastal areas operate at the intersection of production efficiency and sensitive marine ecosystems, where seawater represents an important operational resource and an environment that must be preserved. Located on the Adriatic coast, Calucem applies an approach to seawater use in industrial processes that combines energy efficiency and responsible management. This paper presents a seawater cooling system for industrial kilns that use the natural properties of seawater for efficient heat transfer. The use of seawater as a natural cooling medium eliminates the need for alternative cooling systems, cooling towers, and mechanical equipment, reducing additional electricity consumption for cooling and associated CO₂ emissions. Seawater is extracted through an intake pipe located at a depth of 1.5 m, with a protective screen preventing the entry of larger impurities. After passing through the cooling system and absorbing heat from the process, the water is returned to the sea without chemical treatment or changes to its chemical composition. The discharge water temperature is controlled according to permit conditions, with a limit of up to 35 °C when seawater temperature exceeds 20 °C, limiting impacts on biodiversity and the marine ecosystem. Process and environmental parameters are continuously monitored, including seawater inlet temperature, measured systematically since 2013. Seawater quality is monitored eight times per year at intake and discharge points. Long-term data show no clear increasing trend in seawater inlet temperature, with average annual values between 17.4 and 18.9 °C. The plant further reduces its environmental footprint through a 421-kW solar power plant, contributing to the use of electricity from renewable sources in production. The paper highlights the importance of sustainable resource use and sustainable industrial solutions in strengthening the resilience of coastal areas to climate change.

Keywords: seawater, industrial processes, cooling, sustainability, Adriatic Sea

Usporedba Razine Povjerenja u Sustave Ranog Upozoravanja od Prirodnih Nepogoda u Hrvatskoj i Japanu

Joško, Trošelj¹, Elvis, Žić²

¹*Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Zagreb, Hrvatska*

²*Građevinski fakultet u Rijeci, Katedra za hidrotehniku, Rijeka, Hrvatska*

e-mail adresa: josko.troselj@irb.hr

Znanstveno-inženjerski napor razvijanja Sustava Ranog Upozoravanja (SRU) od prirodnih nepogoda su veoma visoki u razvijenim zemljama koje ulažu u tehnologiju primjerice – Japan i Hrvatska. Međutim, nepovjerenje građana u SRU je značajno različito između te dvije Zemlje – u kojima je autor JT znanstveno djelovao. Stoga, JT analizira uzroke takvih bipolarnih percepcija opasnosti koje donose prirodne nepogode i spremnosti ljudske akcije i otpornosti na rizike od prirodnih nepogoda. Analizirati će razinu i načine organizacije Japanskih znanstvenika u razne oblike, strukture te horizontalne i vertikalne odnose unutar sveobuhvatnih projekata pripreme, prilagodbe i – adaptacije na klimatske promjene te očekivane i ostvarene rezultate istih. Iste strukture će usporediti s onima u Hrvatskoj te diskutirati i predložiti mogućnosti napretka. Nakon tehnološke usporedbe, usporediti će i diskutirati najčešće razloge znatno niže razine povjerenja u SRU u Hrvatskoj – u odnosu na razinu u Japanu, gdje se vježbe priprema za katastrofe (Disaster Drills) odvijaju učestalo, u organizaciji Sveučilišta, Prefektura i Gradskih četvrti (Wards). Tijekom tih vježbi se simuliraju najčešće situacije do kojih dolazimo prilikom potresa, poplava, klizišta i drugih nepogoda te očekivane akcije koje trebamo učiniti s naglaskom na one koje nikako ne smijemo poduzeti. Učestalost i dostupnost ovakvih vježbi i sudjelovanje pučanstva u njima uvelike doprinosi povjerenju Japanaca u SUR – preporučam povećavanje broja ovakvih vježbi i u Hrvatskoj, koje se može spojiti i u cjelodnevno druženje pučanstva. Osim toga, važno je pratiti i razvijati znanstvene trendove smanjivanja nesigurnosti (uncertainty), a što uključuje sveobuhvatnu znanstvenu suradnju iz mnogih hidrogeotehničkih disciplina – meteorologija, hidrologija, geologija, oceanografija i obalno inženjerstvo, i slične. Češće praktične vježbe – s vidljivim SUR učincima bi povećalo ufanje građana u SUR.

Ključne riječi: Nastanak SUR tehnologije, Organizacija SUR obrane od rizika, Preporuke i nepreporučene akcije, Smanjivanje nesigurnosti predviđanja, Povećanje ufanja u SUR

Trust Level Comparison in Early Warning Systems for Natural Disasters in Croatia and Japan

Joško, Trošelj¹, Elvis, Žić²

¹*Ruđer Bošković Institute, Division for Marine and Environmental Research, Zagreb, Croatia*

²*Faculty of Civil Engineering, University of Rijeka, Department of Hydraulic Engineering,
Rijeka, Hrvatska*

e-mail address: jtroselj@irb.hr

Scientific and engineering efforts to develop Early Warning Systems (EWS) for natural disasters are very high in developed countries that invest in technology, such as – Japan and Croatia. However, citizens' distrust in EWS is significantly different within the two countries – where the author JT has scientifically contributed. Therefore, JT analyzes the causes of such bipolar perceptions of the dangers posed by natural disasters and the readiness of human preparedness and resilience to the risks against natural disasters. I will analyze the level and ways of organization by Japanese scientists into various forms, structures, and horizontal and vertical relationships within projects for preparation, adjustment and – adaptation to climate change, the expected and achieved results of the same. I will compare similar structures with those in Croatia and discuss and suggest possibilities for progress. After the technological comparison, I compare and discuss the most common reasons for the significantly lower EWS trust level in Croatia – compared to the level in Japan, where Disaster Drills are held frequently, by Universities, Prefectures and Wards. During these exercises, common situations occurring during earthquakes, floods, landslides and other disaster types are simulated, as well as the expected actions that we should take, with an emphasis on those that we should not take in any situation. The frequency and availability of such exercises and the participation of the population in them greatly contribute to the trust of the Japanese in EWS – I recommend increasing the number of such exercises in Croatia, combined with all-day societal gatherings. It is also important to monitor and develop scientific trends in reducing uncertainty, with comprehensive scientific cooperation from multiple – hydro-geotechnical disciplines. Increased practical exercises – with visible effects of EWS should enrich citizens' trust in EWS.

Keywords: EWS Technology emergence, EWS risk defense organization, Do's and Don'ts, Reduction of forecasting uncertainties, EWS trust enrichment

Integracija turističkih zona i obalnog grada: analiza pokazatelja klimatski prilagodljivog planiranja na primjeru grada Rovinja

Emil, Srbljanin¹, Ana, Mrđa²

¹*Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Fra Andrije Kačića Miošića 26, Zagreb,* ²*Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Fra Andrije Kačića Miošića 26, Zagreb*

e-mail adresa: esrbljanin@arhitekt.hr

Prostorni razvoj obalnih gradova posljednjih desetljeća obilježen je intenzivnim rastom turističke aktivnosti koja značajno utječe na ekološku i klimatsku prilagodljivost te otpornost urbanih sustava rezultirajući infrastrukturnim pritiscima, prostornom fragmentacijom i degradacijom obalnog i morskog okoliša. Rovinj, kao jedan od razvijenijih turističkih gradova hrvatske obale, predstavlja specifičan primjer postupnog preklapanja turističkih zona s urbanim tkivom grada. Turističke zone, uslijed urbanog širenja obalnih gradova, sve više sudjeluju u svakodnevnom funkcioniranju grada, stvarajući nove prostorne odnose, obrasce mobilnosti i promjene u korištenju prostora. Cilj rada je analizirati pokazatelje integracije turističkih zona na području Rovinja te procijeniti njihov utjecaj na otpornost urbanog sustava i klimatsku prilagodljivost prostornog razvoja grada. Istraživanje se temelji na kombinaciji kvalitativnih i kvantitativnih metoda koje uključuju analizu prostorno-planske dokumentacije, GIS analize i komparativno vrednovanje odabranih pokazatelja. Analiziraju se prostorni odnosi, pokazatelji plavo-zelene infrastrukture, planska namjena prostora, dostupnost i povezanost javnih prostora, održiva mobilnost te urbane funkcije. Rezultati istraživanja ukazuju da veća integracija turističkih zona, uz primjenu plavo-zelene infrastrukture i održive mobilnosti pridonosi većoj klimatskoj otpornosti i prilagodljivosti urbanog sustava. Zaključno, rad potvrđuje potrebu razvoja adaptabilnih modela prostornog planiranja koji turističke zone promatraju kao sastavne dijelove urbanog sustava, s ciljem stvaranja održivijih i kvalitetnijih odnosa između turizma i grada.

Ključne riječi: održivi obalni turizam, klimatska prilagodljivost, integracija turističkih zona, plavo-zelena infrastruktura, Rovinj

Integration of Tourist Zones and the Coastal City: An Analysis of Climate-Adaptive Planning Indicators in the Case of the City of Rovinj

Emil, Srbljanin¹, Ana, Mrđa²

¹*University of Zagreb, Faculty of Architecture, Fra Andrije Kačića Miošića 26, Zagreb,* ²*University of Zagreb, Faculty of Architecture, Fra Andrije Kačića Miošića 26, Zagreb*

e-mail address: esrbljanin@arhitekt.hr

The spatial development of coastal cities in recent decades has been characterised by the intensive growth of tourism activity, which significantly affects the ecological and climate adaptability as well as the resilience of urban systems, resulting in infrastructure pressures, spatial fragmentation, and the degradation of the coastal and marine environment. Rovinj, as one of the more developed tourist cities on the Croatian coast, represents a specific example of the gradual overlap of tourist zones with the urban fabric of the city. As a result of the urban expansion of coastal cities, tourist zones increasingly participate in the everyday functioning of the city, creating new spatial relationships, mobility patterns, and changes in land use. The aim of this paper is to analyse the indicators of the integration of tourist zones in the area of Rovinj and to assess their contribution to the resilience of the urban system and the climate adaptability of urban spatial development. The research is based on a combination of qualitative and quantitative methods, including the analysis of spatial planning documentation, GIS analyses, and the comparative evaluation of selected indicators. The analysis includes spatial relationships, blue-green infrastructure indicators, planned land use, the accessibility and connectivity of public spaces, sustainable mobility, and urban functions. The research results indicate that a higher level of integration of tourist zones, together with the implementation of blue-green infrastructure and sustainable mobility, contributes to greater climate resilience and the adaptability of the urban system. In conclusion, the paper confirms the need to develop adaptive spatial planning models that consider tourist zones as integral parts of the urban system, with the aim of creating more sustainable and higher-quality relationships between tourism and the city.

Keywords: sustainable coastal tourism, climate adaptability, integration of tourist zones, blue-green infrastructure, Rovinj

Obalna brownfield područja kao interdisciplinarni izazov zaštite Jadrana

Dalibor, Carević¹, Marijana, Serdar¹, Ivana, Carević¹

¹*Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska*

e-mail adresa: dalibor.carevic@unizg.grad.hr

Obalna brownfield područja predstavljaju jedan od složenijih izazova održivog upravljanja prostorom uz more. Riječ je o prostorima koji su najčešće nastali napuštanjem industrijskih, lučkih ili infrastrukturnih aktivnosti, pri čemu iza sebe ostavljaju onečišćeno tlo, promijenjenu obalnu morfologiju, degradirane ekosustave, neriješene vlasničko-pravne odnose i snažan pritisak za novu gospodarsku uporabu. U obalnom prostoru ti su problemi dodatno naglašeni blizinom mora, mogućim ispiranjem onečišćivala, utjecajem na morske sedimente i staništa, ali i velikom atraktivnošću lokacija za turizam, stanovanje i javne sadržaje. U izlaganju će se prikazati iskustva projekta Strategije cjelovitog oporavka obalnih brownfield područja, provedenog kroz suradnju Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i University of South-Eastern Norway. Projekt je bio usmjeren na prijenos znanja i razvoj dobrih praksi sanacije, s posebnim naglaskom na ekosustavna rješenja, uključivanje lokalne zajednice i usporedbu hrvatskih i norveških iskustava. Kao središnji primjer razmatrano je područje bivše tvornice ferolegura u Dugom Ratu, uz usporedbu s norveškim iskustvima sanacije industrijskog područja u Notoddenu. Na području bivše tvornice u Dugom Ratu, kroz niz mjernih kampanja u posljednjih dvadesetak godina, izmjerene su povišene koncentracije štetnih tvari kao što je krom, olovo, cink, kadmij, arsen. Štetnost ovih tvari na morske ekosustave i ljude je nebrojno puta dokazana. Nažalost, zbog niza administrativnih razloga, pravno-imovinskih problema i nedostatka iskustva s ovakvom problematikom, sanacija područja Dugi Rat još nije niti započela. Cilj izlaganja nije prikazati samo tehničke metode remedijacije, nego pokazati zašto uspješna obnova obalnih brownfield lokacija zahtijeva povezivanje građevinarstva, geologije, biologije, zaštite okoliša, prostornog planiranja, prava, ekonomije i participacije lokalne zajednice. Posebna će se pažnja posvetiti pitanju kako takva područja pretvoriti iz okolišnog i društvenog opterećenja u prostor javne vrijednosti, otpornosti i održivog razvoja obalnih zajednica.

Ključne riječi: brownfield područje, onečišćenje mora, sanacija

Coastal Brownfield Areas as an Interdisciplinary Challenge for the Protection of the Adriatic Sea

Dalibor, Carević¹, Marijana, Serdar¹, Ivana, Carević¹

¹Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Croatia

e-mail address: dalibor.carevic@unizg.grad.hr

Coastal brownfield areas represent one of the more complex challenges of sustainable management of coastal zones. These are areas that most commonly originate from the abandonment of industrial, port-related, or infrastructural activities, leaving behind contaminated soil, altered coastal morphology, degraded ecosystems, unresolved ownership and legal issues, and strong pressure for new economic use. In coastal areas, these problems are further intensified by proximity to the sea, the potential leaching of pollutants, impacts on marine sediments and habitats, as well as the high attractiveness of such locations for tourism, housing, and public amenities. The presentation will present the experiences gained through the project Ecosystem-based strategies for remediation of brownfield sites (2023-2024), carried out through cooperation between the Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, and the University of South-Eastern Norway. The project focused on knowledge transfer and the development of good remediation practices, with particular emphasis on nature-based solutions, local community involvement, and comparison of Croatian and Norwegian experiences. The central case study was the area of the former ferroalloy factory in Dugi Rat, compared with Norwegian experiences in the remediation of the industrial area in Notodden. In the area of the former factory in Dugi Rat, a series of measurement campaigns conducted over the past two decades have detected elevated concentrations of harmful substances such as chromium, lead, zinc, cadmium, and arsenic. The harmful effects of these substances on marine ecosystems and human health have been demonstrated on numerous occasions. Unfortunately, due to a range of administrative reasons, property and legal issues, and a lack of experience in dealing with this type of problem, the remediation of the Dugi Rat area has not yet even begun. The aim of the presentation is not only to present technical remediation methods, but also to demonstrate why the successful regeneration of coastal brownfield sites requires the integration of civil engineering, geology, biology, environmental protection, spatial planning, law, economics, and local community participation. Special attention will be given to the question of how such areas can be transformed from environmental and social burdens into spaces of public value, resilience, and sustainable development for coastal communities.

Keywords: brownfield area, marine pollution, remediation

Između obnove i devastacije: kada su nasipavanje obale i dohranjivanje plaža opravdani na urbaniziranim obalama

Igor, Ružić¹; Leonarda Vuksan¹, Maximilian Wagner¹

¹ Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, Radmile Matejčić 3, Hrvatska

e-mail adresa: iruzic@uniri.hr

Posljednjih desetljeća dohranjivanje plaža postalo je jedna od najčešće primjenjivanih intervencija na hrvatskoj obali. Međutim, pod pojmom dohranjivanja često se provode zahvati koji po svojoj prirodi predstavljaju nasipavanje i trajno proširenje obalne linije. Takva praksa dovela je do brojnih stručnih prijedora te negativne percepcije svih oblika nasipavanja obale. Cilj rada je definirati kriterije prema kojima se može razlikovati opravdano nasipavanje od zahvata koji predstavljaju daljnju degradaciju obalnog prostora. Analiza je provedena na primjeru urbanizirane obale Pećina u Rijeci, gdje su uspoređeni povijesni kartografski izvori, ortofoto snimke i današnje stanje obale. Rezultati pokazuju da je površina prirodnih žala smanjena približno pet puta u odnosu na stanje sredinom 20. stoljeća. Istovremeno, značajan broj građevina, šetnica i drugih infrastrukturnih sadržaja nalazi se neposredno uz more te je sve više izložen djelovanju valova i porastu razine mora. Dodatni problem predstavlja učestalo korištenje neadekvatnog materijala za dohranjivanje plaža. Prirodna žala često se zamjenjuju drobljencem iz kamenoloma ili drugim alohtonim materijalima koji ne odgovaraju lokalnim sedimentološkim karakteristikama. Takvi materijali imaju nepovoljnija hidrodinamička svojstva od prirodnih oblutaka, pokazuju manju stabilnost pod djelovanjem valova te mogu negativno utjecati na bentoske zajednice i druga obalna staništa. Rad pokazuje da nasipavanje može biti opravdano kada predstavlja obnovu povijesno izgubljene obale, kada se temelji na povoljnim geomorfološkim i geološkim uvjetima te kada doprinosi povećanju otpornosti prostora na klimatske promjene. Nasuprot tome, zahvati kojima je primarni cilj stvaranje novih plažnih površina bez stručnih podloga ne mogu se smatrati mjerama obnove. Zaključno se ističe da urbanizirane obale zahtijevaju aktivno upravljanje te da nasipavanje u pojedinim slučajevima može predstavljati prihvatljivu mjeru prilagodbe i obnove degradiranog obalnog prostora.

Ključne riječi: nasipavanje obale, dohranjivanje plaža, klimatske promjene, urbanizirana obala, Rijeka

Between Restoration and Degradation: When Are Coastal Reclamation and Beach Nourishment Justified on Urbanized Coasts?

Igor, Ružić¹, Leonarda Vuksan¹, Maximilian Wagner¹

¹ Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, Radmile Matejčić 3, Croatia

e-mail address: iruzic@uniri.hr

In recent decades, beach nourishment has become one of the most frequently applied interventions along the Croatian coast. However, activities formally presented as nourishment often involve coastal reclamation and permanent shoreline expansion. Such practices have generated professional controversy and contributed to a generally negative perception of all coastal filling activities. The aim of this paper is to define criteria that distinguish justified coastal reclamation from interventions that further degrade coastal environments. The analysis focuses on the urbanized Pećine coastline in Rijeka, Croatia, using historical maps, orthophotos, and present-day coastal surveys. The results indicate that the area of natural gravel beaches has decreased by approximately five times compared to the mid-twentieth century. At the same time, numerous buildings, promenades, and coastal infrastructures are located directly adjacent to the sea and are increasingly exposed to wave action and sea-level rise. An additional concern is the frequent use of inappropriate nourishment material. Natural beach sediments are often replaced by crushed quarry aggregates or other non-native materials that differ significantly from local sediments. Compared with natural gravel, such materials exhibit less favorable hydrodynamic characteristics, reduced stability under wave action, and may adversely affect benthic communities and coastal habitats. The study demonstrates that coastal reclamation may be justified when it restores historically lost shoreline areas, is based on favorable geomorphological and geological conditions, and contributes to climate change adaptation. In contrast, interventions primarily intended to create new beach areas without adequate scientific justification cannot be regarded as restoration measures. The paper concludes that urbanized coasts require active management and that, in specific cases, coastal reclamation may represent an acceptable strategy for restoring degraded coastal zones and increasing resilience to future climate impacts.

Keywords: coastal reclamation, beach nourishment, climate change adaptation, urbanized coast, Rijeka

Utjecaj urbanističkog planiranja na obalnu ranjivost u uvjetima porasta razine mora

Igor, Ružić¹, Denis Ambruš¹

¹ Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, Radmile Matejčić 3, Hrvatska

e-mail adresa: iruzic@uniri.hr

Obalni gradovi sve su više izloženi posljedicama klimatskih promjena, osobito porastu razine mora i sve učestalijim pojavama obalnog plavljenja. Iako se ranjivost obalnih područja najčešće promatra kroz intenzitet prirodnih hazarda, značajnu ulogu imaju i urbanističke odluke koje određuju način korištenja prostora te mogućnosti buduće prilagodbe. Cilj rada je analizirati utjecaj urbanističkog planiranja na obalnu ranjivost kroz usporedbu gradova Rijeke i Crikvenice. Analiza se temelji na visoko rezolucijskom LiDAR modelu reljefa (1×1 m) i scenarijima porasta razine mora. Posebna pozornost posvećena je povijesno nasutim obalnim površinama koje danas predstavljaju najizloženije dijelove urbanog prostora. Rezultati pokazuju da se u Rijeci značajan dio izgrađenih sadržaja, prometne infrastrukture i kulturne baštine nalazi na niskim nasutim površinama podložnim plavljenju. Posebno je osjetljivo područje riječke tržnice, gdje su već danas prisutni problemi plavljenja tijekom ekstremnih razina mora. Nasuprot tome, u Crikvenici su najveći dio nasutih obalnih površina zauzele šetnice, plaže, parkovi i drugi javni prostori, što omogućuje jednostavniju prilagodbu budućem porastu razine mora. Rezultati potvrđuju da obalna ranjivost nije određena samo prirodnim hazardima, već i povijesnim urbanističkim odlukama te načinom korištenja prostora. Očuvanje otvorenih i prilagodljivih obalnih površina pokazuje se kao važan alat klimatske prilagodbe i povećanja otpornosti obalnih gradova.

Ključne riječi: obalna ranjivost, porast razine mora, urbanističko planiranje, klimatska prilagodba, Jadran

The Influence of Urban Planning on Coastal Vulnerability under Sea-Level Rise Conditions?

Igor, Ružić¹, Denis Ambruš¹

¹ Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, Radmile Matejčić 3, Croatia

e-mail address: iruzic@uniri.hr

Coastal cities are increasingly exposed to the impacts of climate change, particularly sea-level rise and the growing frequency of coastal flooding events. While coastal vulnerability is commonly assessed through the intensity of natural hazards, urban planning decisions also play an important role in determining land-use patterns and future adaptation opportunities. The aim of this study is to investigate the influence of urban planning on coastal vulnerability through a comparison of the cities of Rijeka and Crikvenica. The analysis is based on a high-resolution LiDAR-derived digital elevation model (1×1 m) and sea-level rise scenarios. Particular attention is given to historically reclaimed coastal areas, which today represent the most exposed parts of the urban environment. The results show that in Rijeka a significant proportion of buildings, transport infrastructure, and cultural heritage assets are located on low-lying reclaimed land vulnerable to flooding. The Rijeka Central Market area is especially sensitive, as flooding already occurs during present-day extreme sea-level events. In contrast, reclaimed coastal areas in Crikvenica are predominantly occupied by promenades, beaches, parks, and other public spaces, allowing greater flexibility for future adaptation measures. The results confirm that coastal vulnerability is determined not only by natural hazards but also by historical urban planning decisions and land-use patterns. Preserving open and adaptable coastal spaces represents an important tool for climate adaptation and increasing the resilience of coastal cities.

Keywords: coastal vulnerability, sea-level rise, urban planning, climate adaptation, Adriatic Sea

Integracija Europskog okvira za plavo obrazovanje u Hrvatskoj: napredak i rezultati samoprocjene

Melita, Mokos¹, Ivana, Zubak Čižmek¹

¹ Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu

e-mail adresa: mmokos@unizd.hr

Europski okvir za plavo obrazovanje, razvijen kroz HORIZON BlueLightS projekt, prepoznaje potrebu za transformacijom kurikuluma, nastavnih praksi, obrazovanja nastavnika, vrednovanja, upravljanja te suradnje među dionicima kako bi se unaprijedilo plavo obrazovanje. U tom kontekstu, oceanska pismenost čini temeljnu komponentu plavog obrazovanja, jer doprinosi razvoju sustavnog razumijevanja uloge oceana u globalnim procesima te jačanju kompetencija učenika za odgovorno donošenje odluka i djelovanje u cilju očuvanja morskih i slatkovodnih ekosustava, što je povezano i s obrazovanjem o klimi. Okvir promiče prijelaz s fragmentiranog obrazovanja o moru i vodama, usmjerenog na usvajanje znanja prema interdisciplinarnom, akcijski usmjerenom učenju koje razvija sustavno razmišljanje, odgovorno upravljanje okolišem i aktivno građanstvo, osnažujući učenike i zajednice za suočavanje s izazovima održivosti morskih i slatkovodnih ekosustava. Ističe se nekoliko područja koja je potrebno unaprijediti kako bi se stvorili preduvjeti za širenje i integraciju plavog obrazovanja u obrazovne sustave: nacionalna strategija, stručno usavršavanje, kurikulum, obrazovni resursi te financijski i ljudski kapaciteti. Također identificira ključne dionike koje je potrebno uključiti u ovaj proces: učitelje i nastavnike, organizacije civilnog društva, ravnatelje obrazovnih institucija, lokalne zajednice, tijela javne uprave, istraživače i akademsku zajednicu te stručnjake iz plavog gospodarstva. Praćenje napretka ovog procesa na nacionalnoj razini različitih država, osigurano je kroz alat za samoprocjenu koji omogućuje procjenu provedbe plavog obrazovanja kroz dvije temeljne dimenzije Okvira: što je potrebno promijeniti i koga je potrebno uključiti. U ovom izlaganju predstaviti ćemo napredak integracije plavog obrazovanja u Hrvatskoj unutar Okvira za plavo obrazovanje te rezultate primjene alata za samoprocjenu korištenog za vrednovanje ovog procesa.

Ključne riječi: plavo obrazovanje, oceanska pismenost, obrazovanje o klimi

Integration European Blue Education Framework in Croatia: Progress and Results of the Self-Assessment Tool

Melita, Mokos¹; Ivana, Zubak Čížmek¹

¹ *University of Zadar, Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture*

e-mail address: mmokos@unizd.hr

European Blue Education Framework, developed through HORIZON BlueLightS project, recognizes the need for transforming curricula, teaching practices, teacher education, assessment, governance, and stakeholder cooperation in order to enhance blue education. In this context, ocean literacy, which is a fundamental component of blue education, as it contributes to the development of a systemic understanding of the ocean's role in global processes and strengthens students' competencies for responsible decision-making and action aimed at preserving marine and freshwater ecosystems, which is also linked to climate education. The Framework promotes a shift from fragmented education about seas and waters, focused on knowledge acquisition, toward interdisciplinary, action-oriented learning that develops systems thinking, responsible environmental stewardship, and active citizenship, empowering learners and communities to address the challenges of sustainability of marine and freshwater ecosystems. Several areas are highlighted as needing improvement in order to create the preconditions for the expansion and integration of blue education into education systems: national strategy, professional development, curriculum, educational resources, and financial and human capacities. It also identifies key stakeholders who need to be involved in this process: teachers and educators, civil society organizations, school leaders, local communities, public administration bodies, researchers and the academic community, as well as experts from the blue economy. Monitoring progress of this process at the national level across different countries is ensured through a self-assessment tool that enables the evaluation of the implementation of blue education through the two core dimensions of the Framework: what needs to be changed and who needs to be involved. In this presentation, we will present the progress of integrating blue education in Croatia within the Blue Education Framework, as well as the results of applying the self-assessment tool used to evaluate this process.

Keywords: blue education, ocean literacy, climate education

Antropogeni utjecaj na plaži kroz oči djeteta

Biljana, Agić, Irina, Kozličić Juraga

*OŠ Šime Budinića, Put Šimunova 4, 23000 Zadar; OŠ Zadarski otoci, Trg Damira Tomljanovića
Gavrana 12, 23000 Zadar*

e-mail adresa: biljana.agic@skole.hr

Kroz godine rada u školi primijetile smo nedovoljnu posvećenost Kurikuluma prirode i biologije tzv. morskim pitanjima, isto kao i manjak želje i zainteresiranosti učenika za spoznaje o istima. Stoga smo pokušale za svaki razred, svaki uzrast, osmisliti radionice koje možemo provesti u učionici i na obali mora, radionice kojima ćemo potaknuti buduće naraštaje na ekološka promišljanja i uočavanje raznih promjena u okolišu, osobito onih klimatskih. Možda je najjači i najvidljiviji upravo antropogeni utjecaj na plažama obzirom da ih mi ljudi želimo prilagoditi za sebe, želimo imati klupe, lagani ulaz u more, parking za auto, pa zbog svog komfora iskrivljujemo sliku prirode. Također, odlaskom sa plaže ostavljamo smeće nakon sebe vjerujući kako će to sigurno netko drugi pokupiti jer se nama žuri. Kroz predavanje *Antropogeni utjecaj na plaži kroz oči djeteta* vodi sažetak tri radionice koje su prilagodljive učenicima starijih razreda osnovne škole: plastični otpad, kemijska analiza vode i bioraznolikost, a koje za cilj imaju samostalno istraživanje djeteta.

Ključne riječi: Jadran, otpad, analiza, bioraznolikost, dijete

Anthropogenic Impact on the Beach through the Eyes of a Child

Biljana, Agić, Irina, Kozličić Juraga

*OŠ Šime Budinića, Put Šimunova 4, 23000 Zadar; OŠ Zadarski otoci, Trg Damira Tomljanovića
Gavrana 12, 23000 Zadar*

e-mail address: biljana.agic@skole.hr

Over the years of working at the school, we have noticed an insufficient commitment of the Nature and Biology Curriculum to so-called marine issues, and a lack of students' desire and interest in learning about them. Therefore, we have tried to design workshops for each grade, each age, that can be conducted in the classroom and on the seashore, workshops that will encourage future generations to think ecologically and notice various changes in the environment, especially climate changes. Perhaps the strongest and most visible is the anthropogenic impact on beaches, since we humans want to adapt them for ourselves, we want to have benches, easy access to the sea, parking for our cars, and for the sake of our comfort we distort the image of nature. Also, when we leave the beach, we leave trash behind, believing that someone else will surely pick it up because we are in a hurry. The lecture *Anthropogenic Impact on the Beach through the Eyes of a Child* provides a summary of three workshops that are adaptable to older elementary school students: plastic waste, chemical analysis of water, and biodiversity, and which aim to allow the child to conduct independent research.

Keywords: Adriatic, waste, analysis, biodiversity, child

Znanošću i umjetnošću za opstanak čovječanstva

Jasna, Lovrinčević

Koblenz, Germany

e-mail adresa: jasna@tiha.de

Globalizacija i razvoj digitalne tehnologije omogućili su povezivanje umjetnika iz cijelog svijeta, njihovo sudjelovanje na zajedničkim projektima, razmjenu ideja i stilova, i sjedinjenje različitih kulturnih utjecaja. Umjetnici se povezuju s globalnom publikom preko online platforma i društvenih mreža koje postaju globalna pozornica. Transnacionalna mreža umjetnika koji dijele iste ideje i ciljeve čine globalne umjetničke pokrete. Često su to ekološki globalni umjetnički pokreti s temama o klimatskim promjenama i o smanjenju bioraznolikosti, koji većinom nastaju u suradnji sa znanstvenicima i aktivistima. Svjetska akademija znanosti i umjetnosti, osnovana 1960., sa značajnim programom sinergije znanosti i umjetnosti na stvaranju boljeg svijeta, u siječnju 2026. godine pokrenula je Planetarni umjetnički pokret X-ART, s ciljem da ovaj novi globalni umjetnički pokret djeluje kao sredstvo za pozitivnu globalnu transformaciju i kreiranje "svijeta kakvog želimo". S rastućim globalnim prijetnjama čovječanstvu, među kojima su i klimatske promjene, ova nova inicijativa izražava potrebu da se gleda naprijed u budućnost i "transformativnom snagom imaginacije" doprinese opstanku čovječanstva. Snagom umjetnosti mogu se izazvati emocije koje će djelovati na svijest ljudi i pokrenuti ih na pozitivno djelovanje. Manifest Planetarnog umjetničkog pokreta X-Art poziva znanstvenike, umjetnike, kreatore i vizionare iz cijelog svijeta da djeluju kao katalizatori promjena stvarajući kreativna rješenja za mir i održivu budućnost.

Ključne riječi: Planetarni umjetnički pokret, opstanak čovječanstva

Science and Art For the Survival of the Humanity

Jasna, Lovrinčević

Koblenz, Germany

e-mail address: jasna@tiha.de

Globalization and digital technologies have enabled the connection of artists from all over the world, their participation in joint projects, the exchange of ideas and styles, and the unification of different cultural influences. Artists connect with a global audience through online platforms and social networks that become a global stage. A transnational networks of artists who share the same ideas and goals form global art movements. These are often ecological global art movements with themes of climate change and biodiversity loss, which are mostly created in collaboration with scientists and activists. The World Academy of Art and Science, founded in 1960, with a significant program of synergy between science and art to create a better world, launched the Planetary Art Movement X-Art in January 2026. with the goal of this new global art movement acting as a tool for positive global transformation and creating "the world we want". With growing global threats to humanity, including climate change, this new initiative expresses the need to look ahead to the future and contribute to the survival of the humanity with the "transformative power of imagination". Art has the power to evoke emotions that can affect people's consciousness and move them to positive action. The Manifesto of Planetary Art Movement X-ART invites scientists, artists, creators and visionaries from around the world to act as catalysts for change by creating inovative solutions for peace and a sustainable future.

Keywords: Planetary Art Movement, humanity survival

POSTER PREZENTACIJE / POSTER PRESENTATION

Ranjivost obalnog jezerskog ekosustava na klimatske promjene u jadranskoj regiji na primjeru Vranskog jezera u Hrvatskoj

Anja, Batina¹

¹*Sveučilište u Zadru, Centar za geoprostorne tehnologije, Zadar, Hrvatska*

e-mail adresa: abatina@unizd.hr

Obalni jezerski ekosustavi u jadranskoj regiji sve su ranjiviji na klimatske promjene, ponajprije zbog dugoročnih trendova porasta temperature zraka, promjena u obrascima oborina te povećane varijabilnosti vodostaja povezane s utjecajem Jadranskog mora. Analiza 34 godine meteoroloških i hidroloških podataka (1990.–2023.) za Vransko jezero ukazuje na izražen trend zagrijavanja (+1,54 °C), uz istodobno povećanje količine oborina i vodostaja jezera, djelomično uvjetovano porastom razine mora u Jadranu. Kako bi se utvrdilo na koji se način ovi trendovi odražavaju na funkcioniranje ekosustava, u radu se analizira utjecaj meteoroloških parametara na kakvoću vode tijekom jednogodišnjeg razdoblja praćenja (srpanj 2023. – lipanj 2024.). Rezultati pokazuju da povišena temperatura zraka izravno povećava temperaturu vode i smanjuje zasićenost kisikom, čime se pojačava biološka aktivnost i promjene u ekosustavu. Povećane oborine potiču unos hranjivih tvari u jezero površinskim otjecanjem, što rezultira većom zamućenošću i koncentracijom klorofila-a, dok vjetrom potaknuto miješanje vode uzrokuje ponovno podizanje sedimenta i povećanu varijabilnost pojedinih parametara kakvoće vode. Plitka morfologija jezera, njegova hidraulička povezanost s Jadranskim morem te povremeni prodor morske vode dodatno utječu na varijabilnost saliniteta, osobito pri niskim vodostajima i tijekom toplijih razdoblja. Gubitak makrofita i dominacija fitoplanktona dodatno povećavaju osjetljivost sustava na klimatske promjene. Odstupanja od višegodišnjih prosjeka, posebice stalno povišene temperature zraka tijekom promatranog razdoblja, potvrđuju kontinuirani utjecaj klimatskih promjena na sustav. Dobiveni rezultati pokazuju kako se dugoročni klimatski trendovi i utjecaji Jadranskog mora očituju kroz kratkoročnu meteorološku varijabilnost, povećavajući ranjivost ekosustava te naglašavaju potrebu za prilagodbom sustava praćenja i upravljanja u uvjetima klimatskih promjena.

Ključne riječi: meteorološki parametri, kakvoća vode, hidrodinamički procesi, plitko jezero, Jadransko more

Vulnerability of coastal lake ecosystem to climate change in the Adriatic region: A case study of Vrana Lake, Croatia

Anja, Batina¹

¹*University of Zadar, Center for Geospatial Technology, Zadar, Croatia*

e-mail address: abatina@unizd.hr

Coastal lake ecosystems in the Adriatic region are increasingly vulnerable to climate change, driven by long-term trends in rising air temperature, changing precipitation patterns, and increasing water level variability linked to Adriatic Sea dynamics. Analysis of 34 years of meteorological and hydrological data (1990–2023) for Vrana Lake, Croatia, indicates a significant warming trend (+1.54°C), alongside increasing precipitation and water levels, partly influenced by Adriatic Sea level rise. To assess how these trends translate into ecosystem responses, this study examines the influence of meteorological parameters on water quality over a 12-month monitoring period (July 2023–June 2024). Results show that elevated air temperature directly increases water temperature and reduces oxygen saturation, increasing biological activity and ecosystem stress. Increased precipitation enhances nutrient loading through runoff, leading to higher turbidity and chlorophyll-a concentrations, while wind-driven mixing promotes sediment resuspension and variability in key water quality parameters. The lake's shallow morphology, hydrological connection to the Adriatic Sea, and periodic seawater intrusion contribute to increased salinity variability, particularly during low water levels and warmer periods. The absence of macrophytes and dominance of phytoplankton further amplify ecosystem sensitivity to climate change. Seasonal deviations from historical averages, especially consistently higher air temperatures during the study period, confirm ongoing climate pressure on the system. The results demonstrate how long-term climate trends and Adriatic Sea influences manifest through short-term meteorological variability, increasing ecosystem vulnerability and highlighting the need for climate-adaptive monitoring and management strategies.

Keywords: meteorological parameters, water quality, hydrodynamic processes, shallow lake, Adriatic Sea

Stratifikacijom uvjetovana varijabilnost i EA–IRMS analiza $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{15}\text{N}$ u uzorcima niskih masa iz Rogozničkog jezera – Zmajevo oko

Luka, Andrijanić¹, Nikola, Zdolšek¹, Rajna Marija, Jozić¹, Jelena, Dautović¹, Irena, Ciglencečki¹

¹*Laboratorij za fiziku mora i kemiju vodenih sustava, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb, Hrvatska*

e-mail adresa: luandrijanic@irb.hr; nizdolsek@irb.hr

Elementna analiza spregnuta s izotopnom masenom spektrometrijom (EA–IRMS) široko se koristi za određivanje stabilnih izotopa ugljika i dušika ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) u okolišnim uzorcima, no analitička izvedba je otežana kod uzoraka s niskim sadržajem dušika. To je osobito važno pri analizama partikularne organske tvari (POM) u stratificiranim, eutrofnim morskim sustavima gdje povećane koncentracije suspendiranih čestica uzrokuju brzo začepljenje filtera, ograničavaju volumen profiltrirane vode te rezultiraju niskim udjelom ukupnog dušika kao i niskim IRMS signalima za N. Kako bi se procijenila kvaliteta elementnih i izotopnih rezultata pri niskim masama uzorka, provedena su mjerenja certificiranih referentnih materijala i POM uzoraka iz eutrofnog Rogozničkog jezera (RJ, Jadransko more), uključujući različite postupke pripreme uzoraka prije analize. Vodeni stupac RJ-a pokazuje širok raspon izotopnih vrijednosti, $\delta^{13}\text{C}$ od $-30,5\text{‰}$ do $-24,5\text{‰}$ i $\delta^{15}\text{N}$ od približno -5‰ do $+4,5\text{‰}$, što odražava izražene biogeokemijske gradijente povezane sa stratifikacijom. Površinski slojevi prezasićeni kisikom (do 225 %) obilježeni su višim $\delta^{13}\text{C}$ vrijednostima (do $-24,5\text{‰}$), pozitivnim $\delta^{15}\text{N}$ vrijednostima ($\sim 4,5\text{‰}$) i C:N omjerima bliskima Redfieldovoj stehiometriji ($\sim 6\text{--}7$), što upućuje na intenzivnu autotrofnu produkciju i asimilaciju anorganskih oblika dušika. Hipoksični i anoksični pridneni sloj pokazuje niže $\delta^{13}\text{C}$ vrijednosti (do $-28,8\text{‰}$), izrazito negativne $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti (do -5‰) i niže C:N omjere ($\sim 3\text{--}4$), što ukazuje na pojačanu mikrobnu razgradnju organske tvari i dominantan doprinos regeneriranog amonijaka u ciklusu dušika. Tijekom epizoda miješanja vodenog stupca negativne $\delta^{15}\text{N}$ vrijednosti prisutne su kroz cijeli stupac, dok vrijednosti $\delta^{13}\text{C}$ ostaju relativno stabilane, što upućuje na veću osjetljivost ciklusa dušika na promjene redoks uvjeta. Rezultati potvrđuju izraženu vertikalnu i sezonsku diferencijaciju POM-a te postojanje dvaju biogeokemijskih režima unutar vodenog stupca RJ-a.

Ključne riječi: stabilni izotopi, organska tvar, C/N omjer, IRMS, stratifikacija

Stratification-induced variability and EA–IRMS analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in low-mass samples from Rogoznica Lake - Zmajevsko jezero

Luka, Andrižanić¹, Nikola, Zdošek¹, Rajna Marija, Jozić¹, Jelena, Dautović¹, Irena, Ciglenečki¹

¹*Laboratory for Physical Oceanography and Chemistry of Aquatic Systems, Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, Zagreb, Croatia*

e-mail address: luandrijanic@irb.hr; nizdolsek@irb.hr

Elemental analysis coupled with isotope mass spectrometry (EA–IRMS) is widely used to determine stable carbon and nitrogen isotopes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) in environmental samples, but analytical performance is difficult in samples with low nitrogen content. This is especially important in particulate organic matter (POM) analyses in stratified, eutrophic marine systems where increased amounts of suspended particles cause rapid filter clogging, limit the volume of filtered water and result in low total nitrogen content as well as low IRMS signals for N. In order to assess the quality of elemental and isotopic results at low sample masses, measurements of certified reference materials and POM samples from the eutrophic Rogoznica Lake (RL, Adriatic Sea) were performed, including various sample preparation procedures prior to analysis. The RL water column exhibits a wide range of isotopic values, $\delta^{13}\text{C}$ from -30.5‰ to -24.5‰ and $\delta^{15}\text{N}$ from approximately -5‰ to $+4.5\text{‰}$, reflecting pronounced biogeochemical gradients associated with stratification. Surface layers supersaturated with oxygen (up to 225%) are characterized by higher $\delta^{13}\text{C}$ values (up to -24.5‰), positive $\delta^{15}\text{N}$ values ($\sim 4.5\text{‰}$) and C:N ratios close to Redfield stoichiometry ($\sim 6\text{--}7$), indicating intensive autotrophic production and assimilation of inorganic nitrogen forms. Hypoxic and anoxic bottom layer exhibit lower $\delta^{13}\text{C}$ values (up to -28.8‰), strongly negative $\delta^{15}\text{N}$ values (up to -5‰) and lower C:N ratios ($\sim 3\text{--}4$), indicating enhanced microbial decomposition of organic matter and a dominant contribution of regenerated ammonia in the nitrogen cycle. During episodes of water column mixing, negative $\delta^{15}\text{N}$ values are present throughout the column, while $\delta^{13}\text{C}$ values remain relatively stable, indicating a greater sensitivity of the nitrogen cycle to changes in redox conditions. The results confirm the pronounced vertical and seasonal differentiation of POM and the existence of two biogeochemical regimes within the RL water column.

Keywords: stable isotopes, organic matter, C/N ratio, IRMS, stratification

Morski toplinski valovi u sjevernom Jadranu: usporedba in-situ mjerenja i CMEMS reanalize na postaji Grunj, Nacionalni park Brijuni

Martina, Hervat¹, Frano, Matic², Jure, Brčić², Andrea, Blašković¹, Silvija, Kipson³

¹Javna ustanova Nacionalni park Brijuni, Brionska 10, 52212 Fažana, Hrvatska, ²Fakultet znanosti o moru, Sveučilište u Splitu, Ruđera Boškovića 37, 21000 Split, Hrvatska, ³SEAFAN – obrt za znanstvene i stručne usluge, Voltino 14, 10000 Zagreb, Hrvatska

e-mail adresa: martina.hervat@np-brijuni.hr

Učestalost, trajanje i intenzitet morskih toplinskih valova (MTV) se povećava uslijed klimatskih promjena, što često uzrokuje masovne pomore morskih organizama. U svrhu praćenja takvih utjecaja, u Nacionalnom parku Brijuni (Sjeverni Jadran) uspostavljen je monitoring temperature mora visoke rezolucije. Mjerači temperature HOBO Water Temp Pro v2 postavljeni su u sublitoralnu zonu uz otočić Grunj (44° 54' 53,44" N, 13° 42' 54,29" E), smješten na zapadnom rubu Nacionalnog parka Brijuni. Pričvršćeni su na podlogu na dubinama od 5 do 30 m u razmacima od 5 m te mjere temperaturu mora svakih sat vremena. Mjerači temperature imaju rezoluciju 0,02 °C na 25 °C i točnost ±0,21 °C u temperaturnom rasponu od 0 do 50 °C. Dnevne temperature na najmanjoj (5 m) i najvećoj (30 m) dubini uspoređene su s reanalizom Copernicus Marine Service (CMEMS) za Sredozemno more (~4,2 km) na dubinama najbližim onima na kojima su postavljeni mjerači temperature (5,5 m i 29,9 m). Morski toplinski valovi (MTV) definirani su kao razdoblja od najmanje pet uzastopnih dana u kojima je temperatura prelazila sezonski promjenjivu graničnu vrijednost 90-og percentila izračunatu iz CMEMS klimatologije za razdoblje od 1987. do 2016. Vrijednosti iz CMEMS-a uzete su u obzir samo na datume za koje su postojala in-situ mjerenja. Tijekom analiziranog razdoblja (od 2021. do 2024.) morski toplinski valovi bili su učestali na obje dubine. Na 5 m dubine CMEMS je detektirao 18 događaja, dok je in-situ mjerenjem detektirano 17 događaja. CMEMS je zadovoljavajuće reproducirao pojavu, vrijeme nastupa i trajanje toplinskih valova na ovoj dubini. Na 30 m dubine, mjerenja su zabilježila 11 događaja (prosječnog trajanja 37,5 dana), dok je CMEMS detektirao samo 7 događaja (prosječnog trajanja 62,7 dana), međutim ukupno trajanje MTV-a je bilo slično (412 prema 439 dana).

Ključne riječi: morski toplinski valovi, sjeverni Jadran, praćenje temperature mora, CMEMS reanaliza, Nacionalni park Brijuni

Marine heatwaves in the Northern Adriatic Sea: a comparison of in-situ observations and CMEMS reanalysis at Grunj station, Brijuni National Park

Martina, Hervat¹, Frano, Matić², Jure, Brčić², Andrea, Blašković¹, Silvija, Kipson³

¹*Public Institution Brijuni National Park, Brionska 10, 52212 Fažana, Croatia,* ²*Faculty of Marine Sciences, University of Split, Ruđera Boškovića 37, 21000 Split, Croatia,* ³*SEAFAN – Marine Research & Consultancy, Voltino 14, 10000 Zagreb, Croatia*

e-mail address: martina.hervat@np-brijuni.hr

Marine heatwaves (MHWs) increase in frequency, duration and intensity as a consequence of climate change, often triggering mass mortality events (MMEs) of marine organisms. To assess such impacts, high-resolution seawater temperature monitoring was initiated in Brijuni National Park (Northern Adriatic Sea). HOBO Water Temp Pro v2 temperature loggers were deployed in the subtidal zone adjacent to Grunj Island (44° 54' 53.44" N, 13° 42' 54.29" E), located at the westernmost part of Brijuni National Park. Loggers were attached to the substrate at depths ranging from 5 to 30 m at 5 m intervals and recorded seawater temperature hourly. The sensors have a resolution of 0.02 °C at 25 °C and an accuracy of ±0.21 °C over the temperature range of 0–50 °C. Daily temperatures at minimum (5 m) and maximum (30 m) depth were compared with the Copernicus Marine Service (CMEMS) Mediterranean reanalysis (~4.2 km) at matching depths (5.5 m and 29.9 m). MHWs were identified as ≥5 consecutive days above the seasonally varying 90th-percentile threshold from the 1987–2016 CMEMS climatology. CMEMS values were retained only on dates with in-situ observations. Over the period for which observed temperatures were available (2021 to 2024), MHWs were frequent at both depths. At the 5m depth, CMEMS detected 18 events, close to the 17 events recorded in situ. CMEMS reproduced the occurrence, timing, and duration of MHWs at this depth. At 30 m, observations recorded 11 events (mean duration 37.5 days), whereas CMEMS detected only 7 events (mean duration 62.7 days), although cumulative exposure was similar (412 vs 439 MHW days).

Keywords: Marine heatwaves, Northern Adriatic Sea, seawater temperature monitoring, CMEMS reanalysis, Brijuni National Park

Petola kao biogeokemijsko sučelje u uvjetima klimatskih promjena

Nives, Kovač¹, Iztok, Arčon^{2,3}, Nastja, Rogan Šmuc⁴

¹*Pedagoški fakultet, Sveučilište Primorska, Cankarjeva 5, 6000 Koper, Slovenija,* ²*Sveučilište u Novoj Gorici, Vipavska 13, 5000, Nova Gorica, Slovenija,* ³*Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000, Ljubljana, Slovenija,* ⁴*Odsjek za geologiju, Fakulteta za naravoslovje in tehniku, Sveučilište u Ljubljani, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija*

e-mail adresa: nives.kovac@pef.upr.si

Karakteristični značaj tradicionalne ručne proizvodnje soli je mikrobna podloga (petola), debljine nekoliko milimetara, koja prekriva dno kristalizacijskih bazena i pruža stabilno prirodno sučelje za obrtničko vađenje soli u Prirodnom parku Sečoveljske soline (Slovenija). Osim svoje tehnološke uloge, petola predstavlja osjetljivu komponentu obalnog hipersalinog ekosustava izloženog utjecajima klimatskih promjena, uključujući porast temperature, promijenjene obrasce oborina i fluktuacije razine mora, što sve može utjecati na mikrobnu aktivnost i geokemijsku stabilnost. Petola sadrži relativno nizak udio organskog ugljika (0,7–6,4 težinski%), uglavnom potječe od mikroorganizama poput cijanobakterija, dijatomeja i drugih mikroalgi. Njene dominantne anorganske komponente uključuju Si, Ca, Al, Cl, Fe, Mg, K i S, ugrađene u mineralne faze (npr. kvarc, feldspati i ilit/muskovit) ili taložene iz slane i porne vode unutar sustava podloga-sediment. Međutim, mnoga pitanja u vezi s distribucijom, koncentracijom i specijacijom elemenata u tragovima u hiperslanim sedimentima ostaju neriješena. Cilj ovog istraživanja bio je istražiti specijaciju i ligandnu okolinu odabranih elemenata u tragovima (Cu i Zn) korištenjem metoda rendgenske apsorpcijske spektroskopije XANES i EXAFS. Mjerenja su provedena u sinkrotronskim zračenjima Petra III, DESY Hamburg (Prijedlog I-20221241 EC) i Elettra, Trst (Pr.: 20225328). Analize su otkrile prisutnost Cu spojeva ($\text{Cu}(\text{OH})_2$, Cu_2O i CuO) i Zn spojeva ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Zn fitat i Zn-histidinski kompleksi). Općenito, petola predstavlja kemijski dinamičan i heterogen sustav uključen u cikliranje aktivnih elemenata unutar hiperslanih obalnih okoliša. U kontekstu klimatskih promjena, razumijevanje njezine kemijske varijabilnosti i otpornosti ključno je za procjenu ranjivosti tradicionalnih ekosustava za proizvodnju soli i podršku njihovom održivom upravljanju i očuvanju.

Ključne riječi: slani okoliši, petola, kemijski sastav, XANES, EXAFS

Petola as a biogeochemical interface under climate change

Nives, Kovač¹, Iztok, Arčon^{2,3}, Nastja, Rogan Šmuc⁴

¹*Faculty of Education, University of Primorska, Cankarjeva 5, 6000 Koper, Slovenia,* ²*University of Nova Gorica, Vipavska 13, 5000, Nova Gorica, Slovenia,* ³*Institute Jožef Stefan, Jamova 39, 1000, Ljubljana, Slovenia,* ⁴*Department of Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia*

e-mail address: nives.kovac@pef.upr.si

A distinctive feature of traditional manual salt production is the microbial mat (petola), a few millimetres thick, which covers the bottom of crystallisation basins and provides a stable natural interface for artisanal salt harvesting in the Sečovlje Salina Nature Park (Slovenia). Beyond its technological role, petola is a sensitive component of a coastal hypersaline ecosystem exposed to climate change impacts, including rising temperatures, altered precipitation patterns, and sea-level fluctuations, all of which may affect microbial activity and geochemical stability. Petola contains relatively low organic carbon content (0.7–6.4 wt.%), derived mainly from microorganisms such as cyanobacteria, diatoms, and other microalgae. Its predominant inorganic components include Si, Ca, Al, Cl, Fe, Mg, K, and S, incorporated into mineral phases (e.g. quartz, feldspars, and illite/muscovite) or precipitated from brine and pore waters within the mat–sediment system. However, many questions regarding the distribution, concentration, and speciation of trace elements in hypersaline sediments remain unresolved. The aim of this study was to investigate the speciation and ligand environment of selected trace elements (Cu and Zn) using X-ray absorption spectroscopy methods XANES and EXAFS. Measurements were performed at synchrotron radiation facilities Petra III, DESY Hamburg (Proposal I-20221241 EC) and Elettra, Trieste (Pr.: 20225328). The analyses revealed the presence of Cu compounds (Cu(OH)₂, Cu₂O, and CuO) and Zn compounds (ZnSO₄·7H₂O, Zn phytate, and Zn–histidine complexes). Overall, petola is a chemically dynamic and heterogeneous system involved in active element cycling within hypersaline coastal environments. In the context of climate change, understanding its chemical variability and resilience is essential for assessing the vulnerability of traditional salt-making ecosystems and supporting their sustainable management and conservation.

Keywords: saline environments, petola, chemical composition, XANES, EXAFS

Uloga organizama u stvaranju biogenog sedimenta plaža i njihovog očuvanja na primjeru plaže Lojišće

Rino, Stanić¹, Andrea, Čobić², Vice, Zamberlin², Marija, Meklav², Dina, Jagečić², Kristina, Pikelj²

¹*Sardina d.o.o., Ratac I, Postira, otok Brač*

²*Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Horvatovac 102b, Zagreb*

e-mail adresa: rinostanic@hotmail.com

Biogeni karbonatni sediment na plažama karakteristika je tropskih područja, ali i umjerenih područja na kojima je donos materijala s kopna ograničen ili ne postoji. Većina dna hrvatskog dijela Jadrana prekrivena je karbonatnim biogenim sedimentom, koji u iznimnim oceanografskim i geomorfološkim okolnostima može biti istaložen kao sediment plaže. Osim ljudskih aktivnosti, glavna prijetnja smanjivanju količine takvog sedimenta je zakiseljavanje oceana uzrokovano klimatskim promjenama uslijed porasta koncentracije atmosferskog CO₂. Razumijevanje porijekla sedimenta od ključne je važnosti za procjenu njegove količine i brzine stvaranja, a time i za procjenu budžeta sedimenta plaža u budućnosti te njihovog opstanka. Plaža Lojišće u parku prirode Telašćica (Dugi otok) je plaža građena od biogenog karbonatnog sedimenta klasificiranog kao slabo šljunkoviti pijesak, s prosječnom i srednjom razinom zrna od oko 0,30 mm. Udio karbonata kreće se oko 98%, a glavni minerali su kalcit, magnezijski kalcit i aragonit. Ovakve karakteristike ukazuju na biogeno porijeklo sedimenta, znatno usitnjenog i sortiranog valovima. Nakon više terenskih izlazaka samo je pri jednom od njih bilo moguće prikupiti sediment plaže čiji sadržaj nije bio usitnjen. Iz tog su sedimenta izdvojena sva zrna na temelju kojih je bilo moguće odrediti vrste organizama, odnosno njihovu pripadnost koljenu, razredu ili redu. Većinu čestica sedimenta čine ostaci kućica puževa među kojima je prepoznata 61 vrsta. Slijedi ih razred školjaka sa 17 prepoznatih vrsta, dok su u manjem dijelu sedimenta pronađeni ostaci mahovnjaka, koralja, rakova, ježinaca, crvenih alga i mnogočetinaša. Ovakva zajednica dovedena je u vezu s livadama cvjetnice *Posidonia oceanica* i biocenozom stjenovite obale u blizini, a čija je očuvanost ključna u daljnjem stvaranju biogenog sedimenta. Oceanografske karakteristike su drugi važan čimbenik u nakupljanju biogenog sedimenta na ovom jedinstvenom mjestu.

Ključne riječi: Park prirode Telašćica, puževi, karbonatni minerali, *Posidonia oceanica*

The role of organisms in the formation of biogenic beach sediment and its preservation: the example of Lojišće beach

Rino, Stanić¹, Andrea, Čobić², Vice, Zamberlin², Marija, Meklav², Dina, Jagečić², Kristina, Pikelj²

¹*Sardina d.o.o., Ratac I, Postira, Brač Island*

²*University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology, Horvatovac 102b, Zagreb*

e-mail address: rinostanic@hotmail.com

Biogenic carbonate sediment on beaches is typical of tropical regions but also occurs in temperate areas where the supply of material from the land is limited or absent. Most of the seabed in the Croatian Adriatic is covered with carbonate biogenic sediment, which, under specific oceanographic and geomorphological conditions, can be deposited as beach sediment. Besides human activities, the main threat to the reduction of such sediment is ocean acidification caused by climate change due to increased atmospheric CO₂. Understanding the origin of sediment is crucial for estimating its quantity and rate of formation, and therefore for assessing the future sediment budget of beaches and their survival. Lojišće Beach in the Telašćica Nature Park (Dugi otok Island) is composed of biogenic carbonate sediment classified as slightly gravelly sand, with an average and median grain size around 0.30 mm. The carbonate content is approximately 98%, including calcite, magnesium calcite and aragonite. These features indicate the biogenic origin of the sediment, significantly fragmented and sorted by wave action. After several field trips, only one of them was possible to collect beach sediment whose contents were not crushed. All grains allowing identification of the species of organisms, or at least their belonging to the phylum, class or order, were separated from the sediment. Most sediment grains are gastropod shells, with 61 species identified. The bivalve class follows, with 17 recognized species, while remains of bryozoa, corals, crustaceans, echinoids, red algae and polychaetes were found in smaller quantities. This type of community is associated with the *Posidonia oceanica* meadows and the biocenosis of the nearby rocky coast. Preservation of both is essential for the continued production of biogenic sediment. The oceanographic characteristics are another important factor in the accumulation of biogenic sediment in this unique location.

Key words: Nature park Telašćica, gastropods, carbonate minerals, *Posidonia oceanica*

Globalne promjene i ekosustav južnog Jadrana: učinci na zooplanktonske populacije s fokusom na vrstu *Calanus helgolandicus*

Marijana, Hure¹

¹Intitut za more i priobalje, Sveučilište u Dubrovniku, Kneza Damjana Jude 12, 20000 Dubrovnik, Hrvatska

e-mail adresa: marijana.hure@unidu.hr

Cilj projekta je dati uvid u dugoročne promjene zooplanktonskih zajednica Jadranskog mora te definirati njihovu reakciju na brzorastuće promjene u okolišu. Projektom će se objediniti povijesni podaci planktonskih zajednica južnojadranske kotline u detaljnim vertikalnim slojevima (od površine do 1200 m dubine) u zadnjih 20 godina. Dodatno, terenskim izlascima sakupit će se uzorci iz Velikog jezera na Mljetu, koji će nam dati uvid u trenutno stanje planktona ova dva sustava. Uz podatke o gustoćama i vertikalnoj raspodjeli planktonskih populacija, preko ciljane vrste (kalanoidni kopepod *Calanus helgolandicus*) dobiti će se informacije o dinamici biomase, populacijskim odnosima i fiziološkim reakcijama kopepoda na stresne uvjete (povećanje temperature) u okolišu. Projektom se očekuju dobiti vrijedni podaci o sekundarnoj produkciji Jadranskog mora i njenoj dugoročnoj dinamici, kao i o odgovoru zoopanktona na ubrzane promjene morskog okoliša, što se u konačnici odražava i na slijedeću razinu hranidbenog lanca kao što je riblji stok.

Ključne riječi: kopepodi, Jadransko more, planktonske populacije, globalne promjene

Global changes and the ecosystem of the southern Adriatic: effects on zooplankton populations with a focus on the species *Calanus helgolandicus*

Marijana, Hure¹

¹*Institute for Marine and Coastal Research, University of Dubrovnik, Kneza Damjana Jude 12, 20000 Dubrovnik, Croatia*

e-mail address: marijana.hure@unidu.hr

The aim of the project is to provide insight into long-term changes in the zooplankton communities of the Adriatic Sea and to define their response to rapidly increasing environmental changes. The project will consolidate historical data on plankton communities in the South Adriatic over the past 20 years. In addition, field trips will collect samples from Veliko Jezero on Mljet Island, providing insight into the current state of plankton in the system. The target species, the calanoid copepod *Calanus helgolandicus*, will provide information on biomass dynamics, population relationships, and physiological responses of copepods to stress conditions, such as increased temperature, in the environment. The project is expected to provide valuable data on the secondary production of the Adriatic Sea and its long-term dynamics, as well as on the response of zooplankton to rapid changes in the marine environment.

Keywords: copepods, Adriatic Sea, plankton populations, global changes

Adaptacijski odgovor mikroalge *Dunaliella tertiolecta* na ekstremne uvjete saliniteta

Filip, Putak¹, Nives, Novosel Vlašić¹, Nadica, Ivošević DeNardis¹

¹*Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb*

e-mail adresa: filip.putak@irb.hr

Klimatske promjene imaju značajan negativan utjecaj na solane i njihovu gospodarsku održivost, što može dovesti do smanjenja proizvodnje soli. Dosadašnje studije pokazuju da u takvim okolišima visokog saliniteta opstaju specifične mikrobne zajednice s ključnom ulogom u biokemijskim ciklusima i stabilnosti ekosustava. Planktonsku zajednicu ovih sustava čine prokarioti i eukarioti, među kojima prevladavaju fotosintetske zelene alge roda *Dunaliella*. Budući da alge predstavljaju najosjetljiviji dio hranidbenog lanca, promjene u njihovoj populaciji mogu utjecati na cijeli ekosustav. Zbog iznimne halotolerancije, mikroalga *Dunaliella tertiolecta* predstavlja izvrstan eukariotski modelni organizam za istraživanje prilagodbe na hiperslane okoliše. Cilj ovog istraživanja je ispitati kako ekstremni uvjeti saliniteta utječu na ponašanje i morfologiju *Dunalielle tertiolecte* u eksponencijskoj i stacionarnoj fazi rasta. Monokultura stanica uzgajat će se pri pet različitih saliniteta (40, 80, 120, 160 i 200 ppt) karakterističnih za solane. Morfološka svojstva i pokretljivost karakterizirat će se na razini pojedinačnih stanica. Pokretljivost (brzina, duljina i oblik putanja) odredit će se analizom videozapisa optičke mikroskopije pomoću računalnog programa otvorenog koda Icy. Morfologija stanica analizirat će se na nanometarskoj skali primjenom mikroskopije atomskih sila (AFM) na zraku.

Dobiveni rezultati pružiti će uvid u mehanizme prilagodbene mikroalgi u ekstremnim staništima, poput solane Pag, omogućujući bolje razumijevanje njihovih potencijalnih odgovora na ekološke pritiske uzrokovane klimatskim promjenama.

Ključne riječi: adaptacijski odgovor, *Dunaliella*, halotolerancija, mikroalge, salinitet

Financiranje: Istraživanja i sudjelovanje na skupu provedeno je uz financijsku potporu projekta pod nazivom „Povećanje razvoja novih proizvoda i usluga koji proizlaze iz aktivnosti istraživanja i razvoja, UUPSS-PAG”, financiranog od strane Europskog fonda za regionalni razvoj; Programa Konkurentnost i kohezija 2021. - 2027., Poziv IRI-S3.

Adaptive response of the microalga *Dunaliella tertiolecta* to extreme salinity conditions

Filip, Putak¹, Nives, Novosel Vlašić¹, Nadica, Ivošević DeNardis¹

¹*Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, Zagreb*

e-mail address: filip.putak@irb.hr

Climate change has a significant negative impact on salt pans and their economic sustainability, potentially leading to reduced salt production. Previous studies show that specific microbial communities persist in these high-salinity environments, playing a crucial role in biochemical cycles and ecosystem stability. The planktonic community in these systems consists of prokaryotes and eukaryotes, with photosynthetic green algae of the genus *Dunaliella* predominating. Because algae are the most sensitive part of the food chain, changes in their populations can affect the entire ecosystem. Due to its exceptional halotolerance, the microalga *Dunaliella tertiolecta* serves as an excellent eukaryotic model organism for investigating adaptation to hypersaline environments. This study aims to examine how extreme salinity conditions affect the behavior and morphology of *Dunaliella tertiolecta* during the exponential and stationary growth phases. The cell monocultures will be cultivated at five different salinities (40, 80, 120, 160, and 200 ppt) characteristic of salt pans. Morphological properties and motility will be characterized at the single-cell level. Motility (cell speed, path length, and trajectory shape) will be determined by analyzing optical microscopy videos using the open-source computer program *Icy*. Cell morphology will be analyzed at the nanometer scale using atomic force microscopy (AFM) in air. The results will provide insight into the adaptive mechanisms of microalgae in extreme habitats, such as the Pag salt pans, enabling a better understanding of their potential responses to environmental pressures from climate change.

Keywords: adaptive response, *Dunaliella*, halotolerance, microalgae, salinity

Acknowledgment: The research and conference participation were supported by the project titled 'Increasing the development of new products and services resulting from research and development activities, UUPSS-PAG', funded by the European Regional Development Fund; Competitiveness and Cohesion Programme 2021–2027, Call IRI-S3.

Od solane do laboratorija: Izolacija i karakterizacija autohtonog soja mikroalge roda *Dunaliella*

Nives, Novosel Vlašić¹, Filip, Putak¹, Romina, Kraus², Nadica, Ivošević DeNardis¹

¹Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, Zagreb ²Centar za istraživanje mora, Institut Ruđer Bošković, G. Paliage 5, Rovinj

e-mail adresa: nnovosel@irb.hr

Ekosustavi s ekstremno visokim salinitetom, poput kristalizacijskih bazena solana, jedinstvena su i nedovoljno istražena staništa s golemim industrijskim potencijalom. Ova hiperslana staništa izložena su oštrim klimatskim fluktuacijama uslijed izmjena oborina i intenzivnog isparavanja, zbog čega su dominantne vrste u ovim staništima, halotolerantne mikroalge roda *Dunaliella* izvrstan model za praćenje staničnog stresa. Njihova otpornost na surove okolišne uvjete temelji se na mehanizmima poput sinteze glicerola te na jedinstvenim strukturnim značajkama stanične membrane. Za detaljno praćenje takvih dinamičkih staničnih odgovora nužan je odmak od klasičnih deskriptivnih metoda prema inovativnim tehnologijama koje omogućuju kvantitativnu analizu živih sustava na mikro- i nanometarskoj skali. Glavni ciljevi ovog rada bili su izolirati i u kontroliranim laboratorijskim uvjetima uzgojiti divlji soj mikroalge roda *Dunaliella* iz ekstremnog okoliša Solane Pag, te primijeniti napredne metode biofizičke karakterizacije na razini pojedinačnih stanica integracijom računalnog pristupa i nanotehnologije. Po prvi put prikazani su jedinstveni podaci o strukturnim i mehaničkim svojstvima stanica ovog autohtonog soja. Primjenom Bio-AFM-a u tekućini omogućen je izravan uvid u integritet i svojstvo elastičnosti na živim stanicama u nativnom mediju, dok su računalnom obradom videozapisa generirani digitalni profili gibanja te kvantificirane kinematičke značajke stanica. Dobiveni rezultati biomehaničke i kinematičke karakterizacije ukazuju na potencijal ovih parametara kao "ranog alarma" za stabilnost staničnog sustava što bi moglo pomoći u optimizaciji procesa proizvodnje soli.

Ključne riječi: biomehanika, *Dunaliella*, hiperslana staništa, kinematika stanica, klimatske fluktuacije

Financiranje: Istraživanja i sudjelovanje na skupu provedeno je uz financijsku potporu projekta pod nazivom „Povećanje razvoja novih proizvoda i usluga koji proizlaze iz aktivnosti istraživanja i razvoja, UUPSS-PAG”, financiranog od strane Europskog fonda za regionalni razvoj; Programa Konkurentnost i kohezija 2021. - 2027., Poziv IRI-S3.

From saltern to laboratory: Isolation and characterization of an autochthonous strain of microalgae of the genus *Dunaliella*

Nives, Novosel Vlačić¹, Filip, Putak¹, Romina, Kraus², Nadica, Ivošević DeNardis¹

¹*Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, Zagreb,* ²*Center for Marine Research, Ruđer Bošković Institute, G. Paliage 5, Rovinj*

e-mail address: nnovosel@irb.hr

Ecosystems with extremely high salinity, such as crystallization ponds in salterns, are unique and insufficiently explored habitats with significant industrial potential. These hypersaline environments experience harsh climatic fluctuations due to alternating precipitation and intense evaporation, making the dominant halotolerant microalgae of the genus *Dunaliella* an excellent model for monitoring cellular stress. Their resistance to extreme environmental conditions relies on mechanisms such as glycerol synthesis and unique structural features of the cell membrane. Detailed monitoring of these dynamic cellular responses requires moving beyond classical descriptive methods toward innovative technologies that enable quantitative analysis of living systems at the micro- and nanometer scale. The main objectives of this work were to isolate and cultivate a wild strain of the microalga *Dunaliella* from the extreme environment of the Pag Salterns under controlled laboratory conditions. Additionally, the study aimed to apply advanced biophysical characterization at the single-cell level by integrating computational approaches and nanotechnology. For the first time, unique data on the structural and mechanical properties of cells from this autochthonous strain are presented. The use of Bio-AFM in liquid provided direct insight into the integrity and elasticity of living cells in their native state, while computational processing of video recordings generated digital motion profiles and quantified the kinematic characteristics of the cells. The results of biomechanical and kinematic characterization indicate the potential of these parameters as an "early warning" signal for the stability of the cellular system, which could aid in the optimization of salt production processes.

Keywords: biomechanics, climatic fluctuations, *Dunaliella*, hypersaline habitats, cell kinematics

Acknowledgment: The research and conference participation were supported by the project titled 'Increasing the development of new products and services resulting from research and development activities, UUPSS-PAG', funded by the European Regional Development Fund; Competitiveness and Cohesion Programme 2021–2027, Call IRI-S3.

Makrofauna plitkih rodolitnih dna u Nacionalnom parku Brijuni

Martina, Hervat¹, Nicolas, Cvijanović², Moira, Buršić²

¹Javna ustanova Nacionalni park Brijuni, Brionska 10, 52212 Fažana, ²Fakultet prirodnih znanosti, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Zagrebačka 30, 52100 Pula

e-mail adresa: martina.hervat@np-brijuni.hr

Rodoliti su biogene strukture nastale djelovanjem kalcificiranih crvenih alga koje formiraju složene trodimenzionalne agregacije visoke ekološke vrijednosti. Kao žarišta bioraznolikosti, pružaju zaklon, hranu i podlogu brojnim bentoskim organizmima koji imaju ključnu ulogu u kruženju tvari i funkcioniranju morskih ekosustava. Unatoč njihovoj važnosti, rodolita dna u Jadranu slabo su istražena. Cilj ovog istraživanja bio je po prvi put karakterizirati sastav i strukturu makrofaune rodolita na području Nacionalnog parka Brijuni u sjevernom Jadranu te ispitati utjecaj dubine i prisutnosti invazivne alge *Caulerpa cylindracea* Sonder na makrobentoske zajednice. Uzorkovanje je provedeno metodom autonomnog ronjenja na dvjema lokacijama (Gaz i Grunj), na dvije dubine (6 m i 10 m), pri čemu su prikupljeni uzorci na području s prisutnošću i bez prisutnosti invazivne alge. Ukupno su analizirana 24 kvadrata (20 × 20 cm). Uzorci su obrađeni prosijavanjem kroz sito veličine oka 500µm i determinacijom makrofaune do viših taksonomskih razina. Ukupno je zabilježeno 12.137 jedinki unutar 24 različitih taksonomskih skupina, pri čemu dominiraju skupine Gastropoda, Polychaeta, Amphipoda i Bivalvia. Značajne interakcije između lokacije i dubine ($p = 0,0137$) te između lokacije i prisutnosti *C. cylindracea* ($p = 0,0154$) ukazale su na to da su se učinci dubine i prisutnosti *C. cylindracea* na sastav zajednica razlikovali među lokacijama. Nije utvrđena značajna interakcija između dubine i prisutnosti *C. cylindracea*, a trostruka interakcija također nije bila značajna. Ukupno gledano, model je objasnio približno 50 % varijacije Bray–Curtisovih različitosti. Rezultati potvrđuju važnost rodolitnih staništa kao žarišta bioraznolikosti. Ovo istraživanje predstavlja prvi detaljan uvid u makrofaunu rodolita na području Nacionalnog parka Brijuni i pruža osnovu za daljnja istraživanja i učinkovito upravljanje ovim vrijednim, ali nedovoljno poznatim staništima.

Ključne riječi: rodoliti, makrofauna, sjeverni Jadran, *Caulerpa cylindracea*

Macrofauna associated with shallow rhodolith beds in Brijuni National Park

Martina, Hervat¹, Nicolas, Cvijanović², Moira, Buršić²

¹Public Institution Brijuni National Park, Brionska 10, 52212 Fažana, ²Faculty of Natural Sciences, Juraj Dobrila University of Pula, Zagrebačka 30, 52100 Pula

e-mail address: martina.hervat@np-brijuni.hr

Rhodoliths are biogenic structures formed by calcareous red algae that create complex three-dimensional aggregations of high ecological value. As biodiversity hotspots, they provide shelter, food, and substrate for numerous benthic organisms that play a key role in nutrient cycling and the functioning of marine ecosystems. Despite their importance, rhodolith beds in the Adriatic remain poorly studied. The aim of this study was, for the first time, to characterize the composition and structure of rhodolith-associated macrofauna in the Brijuni National Park in the Northern Adriatic and to examine the effects of depth and the presence of the invasive alga *Caulerpa cylindracea* Sonder on macrobenthic communities. Sampling was conducted by SCUBA diving at two locations (Gaz and Grunj) and at two depths (6 m and 10 m), including areas with and without the invasive alga. In total, 24 quadrats (20 × 20 cm) were analyzed. Samples were processed by sieving through a 500 µm mesh and identifying macrofauna to higher taxonomic levels. A total of 12,137 individuals belonging to 24 different taxonomic groups were recorded, with Gastropoda, Polychaeta, Amphipoda, and Bivalvia being the dominant groups. Significant interactions between location and depth ($p = 0.0137$) and between location and *C. cylindracea* presence ($p = 0.0154$) indicated that the effects of depth and *C. cylindracea* on community composition varied among locations. No significant interaction was detected between depth and *C. cylindracea* presence, and the three-way interaction was also non-significant. Overall, the model explained approximately 50% of the variation in Bray–Curtis dissimilarities. The findings confirm the importance of rhodolith beds as biodiversity hotspots. This study provides the first detailed insight into rhodolith macrofauna in Brijuni National Park and establishes a foundation for future research and effective management of these valuable yet insufficiently explored habitats.

Keywords: rhodoliths, macrofauna, Northern Adriatic, *Caulerpa cylindracea*

Preliminarni rezultati usporedbe epifaunalnih zajednica sjevernog i srednjeg Jadrana

Daria, Trinajstić¹, Jadran, Tolić¹, Mia, Bacalja¹, Pavel, Ankon²

¹*Udruga studenata biologije – BIUS, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb,*

²*Biološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, , 10000 Zagreb*

e-mail adresa: daria.trinajstic@gmail.com

Livade morskih cvjetnica predstavljaju ekološki važna staništa visoke bioraznolikosti te pružaju zaklon i hranilišta brojnim morskim organizmima. Zbog složene prostorne strukture osjetljive su na mehanička oštećenja uzrokovana sidrenjem, ribolovnim aktivnostima i drugim antropogenim zahvatima, što može dovesti do promjena u sastavu pridnenih zajednica. S ciljem utvrđivanja razlika u sastavu i brojnosti epifaunalnih zajednica, istraživanje je provedeno na trima lokalitetima u srednjem i sjevernom Jadranu: u Novigradskom i Karinskom moru te na otoku Krku. Uzorci su prikupljeni akvarističkim mrežicama duž 5 m dugačkih linijskih transekata tijekom dnevnih i noćnih razdoblja te su nakon konzerviranja u 96%-tnom etanolu identificirani pomoću dostupne literature. Preliminarni rezultati ukazuju na razlike u brojnosti i sastavu epifaunalnih zajednica između dnevnih i noćnih uzorkovanja. Na svim istraživanim lokalitetima noćni su uzorci sadržavali veći broj jedinki od dnevnih, uz izraženiju prostornu varijabilnost u odnosu na relativno ujednačenu dnevnu brojnost. Skupina Gastropoda bila je brojnija noću na svim lokalitetima i imala je najveći doprinos ukupnom povećanju brojnosti noćnih uzoraka. Suprotno tome, kod skupine Crustacea nije uočen jedinstven obrazac promjene brojnosti između dnevnih i noćnih razdoblja, što upućuje na taksonomski specifične odgovore. Rezultati ukazuju na izražene prostorne i dnevno-noćne razlike u strukturi epifaunalnih zajednica te naglašavaju da procjene njihove bioraznolikosti temeljene isključivo na dnevnom uzorkovanju mogu podcijeniti ukupnu brojnost i varijabilnost sastava zajednice. Budući da su epifaunalne zajednice usko povezane s očuvanošću livada morskih cvjetnica, njihovo praćenje može doprinijeti razumijevanju posljedica mehaničkih oštećenja staništa i promjena u pridnenim zajednicama.

Ključne riječi: morske cvjetnice, epifauna, bioraznolikost, dnevno-noćna dinamika.

Preliminary results of research on epifaunal communities in northern and central Adriatic

Daria, Trinajstić¹, Jadran, Tolić¹, Mia, Bacalja¹, Pavel, Ankon²

¹*Association of biology students – BIUS, Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb,*

²*Biology department, Faculty of natural sciences, University of Zagreb, 10000 Zagreb*

e-mail address: daria.trinajstic@gmail.com

Seagrass meadows represent ecologically important habitats characterised by high biodiversity, providing shelter and feeding grounds for numerous marine organisms. Owing to their complex spatial structure, they are particularly vulnerable to mechanical damage caused by anchoring, fishing activities and other anthropogenic disturbances, which may lead to changes in the composition of benthic communities. To assess differences in the composition and abundance of epifaunal communities, this study was conducted at three sites in the central and northern Adriatic Sea: the Novigrad Sea, the Karin Sea and the island of Krk. Samples were collected using aquarium nets along 5 m line transects during both day and night periods and, after preservation in 96% ethanol, organisms were identified using available taxonomic literature. Preliminary results indicate differences in the abundance and composition of epifaunal communities between day and night sampling periods. At all investigated sites, night samples contained a higher number of individuals than day samples, with more pronounced spatial variability compared with the relatively uniform daytime abundance. Gastropoda were more abundant at night at all sites and contributed most to the overall increase in abundance recorded in night samples. In contrast, Crustacea did not show a consistent pattern of change in abundance between day and night periods, suggesting taxon-specific responses. The results indicate pronounced spatial and diel differences in the structure of epifaunal communities and highlight that biodiversity assessments based exclusively on daytime sampling may underestimate both total abundance and variability in community composition. As epifaunal communities are closely associated with the conservation status of seagrass meadows, their monitoring may contribute to a better understanding of the effects of mechanical habitat damage and associated changes in benthic communities.

Keywords: seagrasses, epifauna, biodiversity, diel dynamics.

Klimatske promjene i masovne pojave meduza određuju biomasu zooplanktona (1993. – 2018.) u Tršćanskom zaljevu

Alenka, Malej¹, Tjaša, Kogovšek², Jan, Malej³, Matevž, Malej⁴, Martin, Vodopivec¹

¹Nacionalni inštitut za biologiju, Morska biološka postaja Piran, Slovenija, ²Institut R. Bošković, Centar za istraživanje mora Rovinj, Hrvatska, ³Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Slovenija, ⁴Univerza na Primorskem, Fakulteta za management, Koper, Slovenija

e-mail adresa: alenka.malej@nib.si

Dugoročna (25-godišnju) varijabilnost biomase zooplanktona i njezine potencijalne pokretače istraživana je u Tršćanskom zaljevu. Višegodišnje fluktuacije suhe mase zooplanktona (DM) uspoređene su s zabilježenim indeksom atmosferskih oscilacija zapadnog Mediterana (WeMO) te učestalost masovne pojave meduza (JBi) kao indikatora „top-down“ kontrole hranidbene mreže. Korelacije između DM zooplanktona i WeMOi analizirane su korištenjem mjesečnih podataka od 1993. do 2018. godine. Analiza vremenskih serija otkrila je da je pozitivna WeMOi faza prevladavala prije 2002. godine. Ova faza povezana je s povećanim oborinama i dotokom rijeka, kao i nižim temperaturama mora – uvjetima koji su općenito povoljni za povećanu biološku produktivnost. Dinamika brojnosti meduza znatno se razlikovala tijekom razdoblja istraživanja, od godina bez masovne pojave do razdoblja karakteriziranih dugotrajnim prisustvom više vrsta. Godišnje vrijednosti JBi kretale su se od 0 (bez masovne pojave) do 10 (velika brojnost tijekom deset mjeseci u pojedinim godinama). Učestalost masovnih pojava bila je minimalna prije 2004. godine, relativno niska u razdoblju 2009. – 2014. (JBi ≤ 5), a povećala se tijekom godina 2004. – 2008. i 2015. – 2019. (JBi 6–10). Statističke analize, uključujući hijerarhijsko grupiranje i nMDS multivarijabilnu analizu, pokazale su da WeMOi i JBi imaju različite i vremenski varijabilne utjecaje na biomasu zooplanktona. Viši JBi bio je povezan sa smanjenom količinom suhe tvari zooplanktona, posebno nakon 2004. godine, dok se povišena količina suhe tvari općenito podudarala s pozitivnom WeMOi fazom.

Ključne riječi: zooplankton, fluktuacije, atmosferske oscilacije, meduze, masovne pojave

Climate Forcing and Jellyfish Blooms Shape Zooplankton Biomass (1993–2018) in the Gulf of Trieste

Alenka, Malej¹, Tjaša, Kogovšek², Jan, Malej³, Matevž, Malej⁴, Martin, Vodopivec¹

¹National Institute of Biology, Marine Biology Station Piran, Slovenia, ²Institut R. Bošković, Center for marine research, Rovinj, Croatia, ³University of Ljubljana, Faculty of Mathematics and Physics, Slovenia, ⁴University of Primorska, Faculty of Management, Koper, Slovenia

e-mail address: alenka.malej@nib.si

We investigated long-term (25-year) variability in zooplankton biomass and its potential drivers in the Gulf of Trieste. Interannual fluctuations in zooplankton dry mass (DM) were examined in relation to the Western Mediterranean Oscillation index (WeMOi), which represents regional atmospheric forcing, and the frequency of jellyfish blooms (JBi) as an indicator of top-down control. Correlations between zooplankton DM and WeMOi were analysed using monthly data from 1993 to 2018. Time-series analysis revealed that the positive WeMOi phase predominated before 2002. This phase is associated with increased precipitation and river discharge, as well as lower sea temperatures – conditions generally favourable for enhanced biological productivity. Jellyfish bloom dynamics varied considerably across the study period, ranging from years without blooms to periods characterised by prolonged, multi-species bloom events. Annual JBi values ranged from 0 (no blooms) to 10 (blooms occurring in ten months of a given year). Bloom frequency was minimal before 2004, relatively low during 2009–2014 ($\text{JBi} \leq 5$), and increased during 2004–2008 and 2015–2019 ($\text{JBi} 6\text{--}10$). Multivariate analyses, including hierarchical clustering and non-metric multidimensional scaling (nMDS), indicated that WeMOi and JBi exerted distinct and temporally variable influences on zooplankton biomass. Higher JBi was associated with reduced zooplankton DM, particularly after 2004, whereas elevated DM generally coincided with the positive WeMOi phase.

Keywords: zooplankton, fluctuations, atmospheric index, jellyfish blooms

Kartiranje i procjena stanja staništa koralja *Cladocora caespitosa* kod otoka Iža primjenom podvodne fotogrametrije i GIS analiza

Rina, Milošević^{1,2}, Marija, Jurica³ Ivan, Marić^{2,4} Bruna, Petani¹, Slavica, Čolak¹

¹Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, ²Sveučilište u Zadru, Centar za geoprostorne tehnologije, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, ³Ronilački klub "KPA ZADAR", Obala kneza Trpimira 12a, 23000 Zadar, ⁴Odjel za geografiju, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, Sveučilište u Zadru

e-mail adresa: rmilosevi@unizd.hr

Ovo istraživanje predstavljalo nastavak projekta *ReefQuest – Cladocora caespitosa Exploration*, usmjerenog na kartiranje i procjenu stanja staništa endemskog kamenog koralja *C. caespitosa* (Linnaeus, 1767) u priobalju otoka Iža. Podvodno snimanje provedeno je na dubini od 10 m, a postavljen je transekt koji se sastojao od 22 kvadrata, svaki površine 1 m². Korištena je kamera Sony RX100 VI, a fotografije su obrađene metodom *Structure from Motion* u programu Agisoft Metashape. Na temelju generiranog ortomozaika u GIS-u su metodom vektorizacije izdvojene makroalge (*Codium bursa*, C.Agardh, 1817), kolonije *C. caespitosa* i trpovi (*Holothuria tubulosa*, Gmelin, 1791) kao mobilne strukture. Za svaku skupinu izračunata je brojnost, površina, pokrovnost i prostorni raspored, dok su za koralje dodatno određeni tip podloge i stanje kolonija. Ukupno je detektirano 170 algi, 23 kolonije koralja i 24 trpa. Alge su najbrojnije i površinski najzastupljenija skupina (2115,35 cm²) sa pokrovnosću od 0,96%. Koralji su zauzimali 1019,16 cm² (0,46 % transekta), a trpovi 435,09 cm² (0,20 %), dok na preostaloj, uglavnom pjeskovitoj površini nisu zabilježeni drugi živi organizmi. Uočena je niska do umjerena raznolikost unutar kvadratne mreže ($H' = 0,413$ prema brojnosti; $H' = 0,235$ prema površini). Statistički značajno prostorno grupiranje utvrđeno je kod algi (ANN = 0,70; Moran I = 0,334, $p = 0,004$; Ripley K na svim udaljenostima). Koralji su pokazali lokalno grupiranje (ANN = 0,76; Ripley K do 2 m), ali bez globalne statističke značajnosti. Većina kolonija koralja pozicionirana je na miješanoj podlozi (65,2%), a prema stanju, 8 ih je degradirano, 8 djelomično očuvano, a 7 dobro očuvano. Kolonije u dobro očuvanom stanju dominiraju u ukupnoj površini (71%), te nema statistički značajne razlike u površini između kategorija stanja. Rezultati pokazuju da kombinacija ronilačkog snimanja, podvodne fotogrametrije i GIS analiza omogućuje neinvazivnu procjenu strukture bentoskog staništa.

Ključne riječi: podvodna fotogrametrija, *Cladocora caespitosa*, bentos

Mapping and Assessment of the Habitat Condition of the Coral *Cladocora caespitosa* near Iž Island Using Underwater Photogrammetry and GIS Analyses

Rina, Milošević^{1,2}, Marija, Jurica³ Ivan, Marić^{2,4}, Bruna, Petani¹, Slavica, Čolak¹

¹University of Zadar, Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, ² University of Zadar, Centar for Geospatial Technologies, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, ³Diving Club "KPA ZADAR", Obala kneza Trpimira 12a, 23000 Zadar, ⁴Department for Geography, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, University of Zadar

e-mail address: rmilosevi@unizd.hr

This study represents a continuation of the *ReefQuest – Cladocora caespitosa Exploration* project, focused on mapping and assessing the condition of habitats of the endemic stony coral *C. caespitosa* (Linnaeus, 1767) along the coast of Iž Island. Research was conducted at a depth of 10 m, along a transect consisting of 22 quadrats, each covering an area of 1 m². A Sony RX100 VI camera was used, and the photographs were processed using the *Structure-from-Motion* method in Agisoft Metashape. Based on the orthomosaic, macroalgae (*Codium bursa*, C.Agardh, 1817), colonies of *C. caespitosa*, and sea cucumbers (*Holothuria tubulosa* Gmelin, 1791) were extracted in GIS using vectorization, with sea cucumbers treated as mobile structures. For each group, abundance, area, cover, and spatial distribution were calculated, while substrate type and colony condition were additionally determined for corals. A total of 170 algae, 23 coral colonies, and 24 sea cucumbers were detected. Algae were the most abundant and spatially dominant group, covering 2115.35 cm² (0.96%), followed by corals with 1019.16 cm² (0.46%) and sea cucumbers with 435.09 cm² (0.20%); the remaining surface was predominantly sandy, with no other living organisms recorded. Low to moderate diversity was observed within the quadrat grid ($H' = 0.413$ for abundance; $H' = 0.235$ for area). Statistically significant clustering was identified for algae (ANN = 0.70; Moran's I = 0.334, $p = 0.004$; Ripley's K at all distances). Corals showed local clustering (ANN = 0.76; Ripley's K up to 2 m), but without global statistical significance. Most coral colonies were positioned on mixed substrate (65.2%). Colony condition was evenly distributed among categories: 8 degraded, 8 partially preserved, and 7 well preserved. Well-preserved colonies accounted for 71% of the total coral area, with no significant area differences among condition categories. Overall, this approach enabled non-invasive assessment of benthic habitat structure.

Keywords: underwater photogrammetry, *Cladocora caespitosa*, benthos

Gustoća populacije, morfometrijski parametri i biološki indeksi ježinca *Sphaerechinus granularis* u priobalnom području Pule

Ines, Kovačić¹, Dorian, Marijan¹, Gioconda, Millotti¹, Moira, Buršić¹, Petra, Burić¹

¹*Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Fakultet prirodnih znanosti, Zagrebačka 30, Pula*

e-mail adresa: ikovac@unipu.hr

Ježinci imaju ključnu ekološku ulogu u obalnim ekosustavima kao dominantni biljojedi te predstavljaju potencijalne resurse za izlov i akvakulturu. Ježinac *Sphaerechinus granularis* postaje sve važniji u kontekstu klimatskih promjena, budući da zagrijavanje mora i ekološke promjene potiču prisutnost ove vrste u plićim obalnim staništima, gdje može značajno utjecati na strukturu bentoskih zajednica i funkcioniranje ekosustava. Cilj je bio procijeniti brojnost i biološke parametre ježinca *S. granularis* na dva obalna područja pulskog arhipelaga (sjeverni Jadran) tijekom rujna 2025. godine. Vrsta je zabilježena na dubinama između 1,50 i 4,00 m, uz nisku gustoću populacije na Zeleniki (1,55 jed./m²) i znatno veću gustoću na Valsalinama (10,55 jed./m²), dok je maksimalna opažena gustoća na Zeleniki iznosila 54 jed./m². Omjeri spolova neznatno su se razlikovali između lokaliteta, pri čemu su na Zeleniki prevladavale ženke (59 %), dok je na Valsalinama zabilježen gotovo uravnotežen omjer (49 % ženki i 51 % mužjaka). Prosječni promjer čahure kretao se od 42,00 do 91,90 mm na Zeleniki te od 50,20 do 105,40 mm na Valsalinama, uz znatne varijacije tjelesne mase (65.10 - 359.20 g). Mužjaci su općenito imali veći promjer i visinu čahure od ženki. Morfometrijske analize pokazale su snažne korelacije između promjera čahure i mase na Zeleniki ($r = 0,83$; $r = 0,82$) i na Valsalinama ($r = 0,76$), dok je odnos između promjera i visine čahure bio znatno slabiji na Valsalinama ($r = 0,32$) u usporedbi sa Zelenikom ($r = 0,82$). Ovi rezultati pružaju vrijedne početne podatke za održivo praćenje populacija ježinaca *S. granularis* te pridonose razumijevanju prilagodbe vrste, ekološke plastičnosti i mogućih odgovora plitkih jadranskih ekosustava na kontinuirane klimatske promjene.

Ključne riječi: klimatske promjene; ježinac; Jadransko more; gustoća populacije

Population density, morphometric parameters and biological indices of *Sphaerechinus granularis* in the Pula coastal area

Ines, Kovačić¹, Dorian, Marijan¹, Gioconda, Millotti¹, Moira, Buršić¹, Petra, Burić¹

¹*Juraj Dobrila University of Pula, Faculty of Natural Sciences, Zagrebačka 30, Pula*

e-mail address: ikovac@unipu.hr

Sea urchins play a crucial ecological role in coastal ecosystems as keystone grazers and represent a potential resource for harvesting and aquaculture. Sea urchin *Sphaerechinus granularis* is becoming increasingly important in the context of climate change, as warming seas and ecological shifts are driving the species toward shallower coastal habitats, where it may significantly influence benthic community structure and ecosystem functioning. This study evaluated the abundance and biological parameters of *S. granularis* in two coastal areas of the Pula archipelago (northern Adriatic Sea) during September 2025. The species was recorded at depths between 1.5 and 4 m, with low population density at Zelenika (1.55 ind./m²) and considerably higher density at Valsaline (10.55 ind./m²), while the maximum observed density reached 54 ind./m² at Zelenika. Sex ratios differed slightly between sites, with females prevailing at Zelenika (59%) and an almost balanced ratio at Valsaline (49% females, 51% males). Test diameter ranged from 42.00 to 91.90 mm at Zelenika and from 50.20 to 105.40 mm at Valsaline, accompanied by substantial variation in body weight (65.10 - 359.20 g). Males generally exhibited larger test diameter and height than females. Morphometric analyses revealed strong correlations between test diameter and weight at both Zelenika ($r = 0.83$; $r = 0.82$) and Valsaline ($r = 0.76$), whereas the relationship between test diameter and height was notably weaker at Valsaline ($r = 0.32$) compared with Zelenika ($r = 0.82$). These findings provide valuable baseline data for sustainable monitoring of *S. granularis* populations and contribute to understanding species adaptation, ecological plasticity, and potential responses of shallow Adriatic ecosystems under ongoing climate change.

Keywords: climate change; sea urchin, Adriatic Sea; population density

Invazivne vrste u sredozemnoj priobalnoj močvari Palud–Palù (sjeveroistočni Jadran)

Andrea, Budiša^{1,2}, Paolo, Paliaga¹, Iva, Horvat¹, Jakov, Cvek Špralja¹, Neven, Iveša¹

¹ Fakultet prirodnih znanosti, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Hrvatska, ²Nizozemski institut za ekologiju (NIOO-KNAW), Droevendaalsesteeg 10, 6708 PB Wageningen, Nizozemska

e-mail adresa: andrea.budisa.ab@gmail.com

Priobalna vodena tijela često su skloništa različitim stranim vrstama za nepovoljnih razdoblja iz kojih kasnije mogu naseliti morska područja. U ovom istraživanju pratili smo prisutnost invazivnih vrsta, bentičkog atlantskog plavog raka *Callinectes sapidus* i pelagičnog rebraša *Mnemiopsis leidyi* u priobalnoj močvari Palud–Palù (SJ Jadransko more) od 2025.–2026. Riječ je o ekološki dinamičnom plitkom vodnom tijelu koje s ograničenom izmjenom vode, izraženim plimnim učincima, sezonskim fluktuacijama temperature i saliniteta te epizodama hipoksije. Procjenu brojnosti jedinki praćena tjedno i to od mora, kroz priključni kanal, do močvare, uz prikupljanje podataka o plimnoj fazi, te hidrološkim i meteorološkim uvjetima. Očekivali smo da će ekstremi onesposobiti populacije ciljanih vrsta. Međutim, *C. sapidus* bio je zabilježen čitave godine, s najvišim vrijednostima tijekom ljeta i rane jeseni. Močvarna područja uz kanal bila su preferirana staništa, dok je ostatak močvare bio rijetko naseljen, uz migraciju prema unutra prvenstveno tijekom jeseni, što se preklapa s razdobljem nižih temperaturama, saliniteta i višom razinom vodenog stupca zbog kiše. Nasuprot tome, *M. leidyi* odgovor bio je drugačiji. Iznimno visoka brojnost zabilježena je moru tijekom kasnog ljeta, dok su prodori u močvaru bili tek kratki i sporadični. Brojnost se brzo smanjivala od mora prema močvari, što ukazuje na to da ovo vodeno tijelo ne podržava uspostavljanje njihovih populacija. To je u suprotnosti sa situacijom u SZ dijelu Jadrana – vjerojatno središta širenja populacije za čitavu regiju. Višestruki čimbenici poput visokih ljetnih temperatura, jakih fluktuacija saliniteta, niske razine kisika i dugotrajnog zadržavanja vode tijekom oseke, zajedno su ograničili preživljavanje rebraša unatoč njihovoj poznatoj toleranciji na mnoge od tih čimbenika. Ovi heterogeni odgovori pružaju uvid u regulaciju uspjeha invazije u plitkim priobalnim vodenim sustavima.

Ključne riječi: Invazivne vrste, *Mnemiopsis leidyi*, *Callinectes sapidus*, Palud–Palù, Jadransko more

Invasive species in the Mediterranean coastal marsh Palud–Palù (northeastern Adriatic Sea)

Andrea, Budiša^{1,2}, Paolo, Paliaga¹, Iva, Horvat¹, Jakov, Cvek Špralja¹, Neven, Iveša¹

¹ Faculty of Natural Science, Jurja Dobrile University of Pula, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Croatia, ² Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Droevendaalsesteeg 10, 6708 PB Wageningen, the Netherlands

e-mail address: andrea.budisa.ab@gmail.com

Coastal water bodies were often found to serve as shelter for various alien species during unfavorable periods, from which they can later repopulate marine areas. In this study, we investigated the presence of invasive benthic Atlantic blue crab, *Callinectes sapidus*, and pelagic ctenophore, *Mnemiopsis leidyi*, in the Mediterranean coastal wetland, Palud–Palù (NE Adriatic Sea), during 2025–26. This is an environmentally dynamic shallow waterbody characterized by limited water exchange with pronounced tidal effects, seasonal temperature and salinity fluctuations, and episodic hypoxia. Abundances were assessed weekly from the adjacent sea through the connecting canal into the wetland, along with the tidal phase, hydrological, and meteorological conditions. We hypothesized that these extremes would disturb the establishment of the studied species. However, *C. sapidus* was present year-round, with maxima during summer and early autumn. Their preferred areas in the wetland were by the canal, while the rest remained sparsely populated, with population moving inwards primarily during autumn, which coincided with lower temperatures, salinities, and higher water levels due to rain. In contrast, *M. leidyi* exhibited a different response. Extremely high abundances were recorded in the adjacent sea during late summer, while only sporadic and short-lived intrusions into the wetland were observed. Abundances rapidly decreased from the sea towards the wetland, indicating that this waterbody does not support the establishment of their populations. This contrasts the findings from NW Adriatic – a likely repopulation hub for the region. Multiple factors, such as high summer temperatures, strong salinity fluctuations, low oxygen, and prolonged water retention during low tide, combined to limit ctenophores' survival, despite their known tolerance for many of these factors. These heterogeneous responses provide insights into the regulation of invasion success in shallow coastal water bodies.

Keywords: Invasive species, *Mnemiopsis leidyi*, *Callinectes sapidus*, Palud–Palù, Adriatic Sea

Prvi nalaz ribe gušter *Synodus randalli* (cressey, 1981) u Jadranskom moru

Valter, Kožul¹, Nenad, Antolović¹, Nikša, Glavić¹

¹*Institut za more i priobalje, Sveučilište Dubrovnik D. Jude 12, Dubrovnik*

e-mail adresa: kozul.valter@gmail.com

Riba gušter *Synodus randalli* (Cressey, 1981) pripada porodici Synodontidae, koja obuhvaća 83 vrste (Fricke i sur., 2023). Ova vrsta, izvorno rasprostranjena u zapadnom dijelu Indijskog oceana i Crvenom moru, dokumentirani je lesepsijski migrant čiji je prvi nalaz u Sredozemnom moru zabilježen 2023. godine u zaljevu Iskenderun u Turskoj (Langeneck i sur., 2023). Jedinaka vrste *S. randalli* ulovljena je 26. studenog 2024. godine mrežom stajačicom kod otoka Lokruma (42°42'24"N; 17°55'16"E) na dubini od 40 metara. Ukupna duljina (*TL*) ulovljene jedinke iznosila je 216 mm, standardna duljina (*SL*) 190 mm, uz masu od 81,6 g. Karakteriziraju ga izduženo, cilindrično i vitko tijelo te kratka, trokutasta i spljoštena glava, čija dužina iznosi približno petinu standardne duljine tijela. Ovo predstavlja prvi nalaz vrste *S. randalli* u južnom Jadranu, što doprinosi popisu alohtone ihtiofaune zabilježene u Jadranskom moru tijekom posljednja tri desetljeća.

Ključne riječi: *Synodus randalli*, riba gušter, prvi nalaz, južni Jadran, lesepsijske migracije.

First record of Randall's lizardfish *Synodus randalli* (Cressey, 1981) in the Adriatic Sea

Valter, Kožul¹, Nenad, Antolović¹, Nikša, Glavić¹

¹*Institute for Marine and Coastal Research, University of Dubrovnik D. Jude 12, Dubrovnik, Croatia*

e-mail address: kozul.valter@gmail.com

The Randall's lizardfish, *Synodus randalli* (Cressey, 1981), belongs to the family Synodontidae, which comprises 83 species (Fricke et al., 2023). Originally distributed in the Western Indian Ocean and the Red Sea, this species is a documented Lessepsian migrant. Its first occurrence in the Mediterranean Sea was recorded in 2023 in Iskenderun Bay, Turkey (Langeneck et al., 2023). A specimen of *S. randalli* was captured on November 26, 2024, using a set gillnet near Lokrum Island (42°42'24"N; 17°55'16"E) at a depth of 40 meters. The total length (*TL*) of the specimen was 216 mm, the standard length (*SL*) was 190 mm, and it weighed 81.6 g. It is characterized by an elongated, cylindrical, and slender body with a short, triangular, and flattened head, the length of which is approximately one-fifth of the standard body length. This record represents the first find of *S. randalli* in the Southern Adriatic, contributing to the list of allochthonous ichthyofauna documented in the Adriatic Sea over the last three decades.

Keywords: *Synodus randalli*, Randall's lizardfish, first record, Southern Adriatic, Lessepsian migration.

Utjecaj različitih antropogenih čimbenika na morsku mačku mrkulju (*Scyliorhinus stellaris*)

Bruna, Babin¹, Marija, Jurica¹, Petar, Zuanović¹, Rina, Milošević^{1,2}, Tomislav, Šarić¹, Ivan, Župan¹, Slavica, Čolak¹

¹Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska, ²Centar za geoprostorne tehnologije, Sveučilište u Zadru, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska

e-mail adresa: bbabin@unizd.hr

Morska mačka mrkulja (*Scyliorhinus stellaris*) pridnena je hrskavičnjača rasprostranjena u priobalnim i otočnim područjima Jadranskog mora. Zbog svojih ekoloških obilježja prikladna je za istraživanja odgovora morskih organizama na različite oblike antropogenog opterećenja. Cilj ovoga istraživanja bio je usporediti somatske pokazatelje jedinki morske mačke mrkulje prikupljenih na području Zadarske županije u dvjema zonama koje se razlikuju prema dominantnim oblicima ljudskog djelovanja. Zona 1 obuhvaća središnji otočni prostor između otoka Ugljana, Iža i Dugog otoka, obilježen prisutnošću marikulturnih aktivnosti i pojačanim pomorskim prometom, dok Zona 2 obuhvaća urbanizirani priobalni prostor zadarskog područja, karakteriziran izraženijim infrastrukturnim, prometnim i gospodarskim opterećenjem. Jedinke su prikupljene tijekom mjeseca travnja u suradnji s lokalnim ribarima koji se bave gospodarskim ribolovom, nakon čega su obrađene u laboratorijskim uvjetima prema standardiziranom protokolu. Provedena su biometrijska mjerenja te izdvajanje i vaganje unutarnjih organa, na temelju čega su izračunati indeks kondicije i hepatosomatski indeks. Analiza dobivenih pokazatelja upućuje na određene razlike između istraživanih zona, no nije utvrđena statistička razlika u dobivenim rezultatima. Prosječna masa i indeks kondicije mačke mrkulje u Zoni 2 bila je neznatno veća od vrijednosti istih u Zoni 1. Dosadašnji rezultati predstavljaju osnovu za daljnje istraživanje, a nastavak praćenja kroz dulje vremensko razdoblje mogao bi pridonijeti preciznijem razumijevanju utjecaja antropogenih čimbenika na populaciju morske mačke mrkulje u istraživanom području.

Ključne riječi: *Scyliorhinus stellaris*, indeks kondicije, somatski indeksi

Impact of environmental and anthropogenic factors on the physiological condition of the nursehound (*Scyliorhinus stellaris*)

Bruna, Babin¹, Marija, Jurica¹, Petar, Zuanović¹, Rina, Milošević^{1,2}, Tomislav, Šarić¹, Ivan, Župan¹, Slavica, Čolak¹

¹University of Zadar, Department of Ecology, agronomy and aquaculture, Trg Kneza Višeslava 9, 23 000 Zadar, Croatia, ²Center for Geospatial Technologies, University of Zadar, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska

e-mail address: bbabin@unizd.hr

The nursehound shark (*Scyliorhinus stellaris*) is a benthic cartilaginous fish found throughout the coastal and insular areas of the Adriatic Sea. Due to its ecological characteristics, it is suitable for investigating the responses of marine organisms to various forms of anthropogenic pressure. The aim of this study was to compare the somatic indicators of nursehound shark individuals collected in Zadar County from two zones differing in the dominant forms of human activity. Zone 1 covers the central island area between the islands of Ugljan, Iž, and Dugi Otok, characterised by mariculture activities and increased maritime traffic, while Zone 2 includes the urbanised coastal area of the Zadar region, characterised by more pronounced infrastructural, transportation, and economic pressures. Specimens were collected in April in collaboration with local commercial fishers, then processed under laboratory conditions according to a standardised protocol. Biometric measurements were taken, and internal organs were dissected and weighed, on the basis of which the condition factor and hepatosomatic index were calculated. Analysis of the obtained indicators suggests certain differences between the investigated zones; however, no statistically significant difference was found in the results. The average body mass and condition factor of nursehound sharks in Zone 2 were slightly higher than those recorded in Zone 1. The results obtained so far provide a basis for further research, while continued monitoring over a longer period could contribute to a more precise understanding of the influence of anthropogenic factors on the nursehound shark population within the study area.

Keywords: *Scyliorhinus stellaris*, condition factor, somatic indices

Obraštaj morskih organizama na naplavljenom otpadu i analiza otpada na plažama jugoistočne Istre tijekom dvije godine

Petra, Burić¹, Lea, Lulić¹, Neven, Iveša¹, Moira, Buršić¹, Ines, Kovačić¹

¹Fakultet prirodnih znanosti, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Hrvatska

e-mail adresa: petra.buric@unipu.hr

Istraživanje provedeno na četiri plaže u uvali Paviri, Šišan, Općina Ližnjan, jugoistočna Istra obuhvatilo je sakupljanje, kategorizaciju i analizuorskog otpada, s posebnim naglaskom na obraštaj morskih organizama na naplavljenom otpadu. Dvije akcije sakupljanja otpada provedene su u travnju 2024. i 2025. godine. U 2024. godini prikupljeno je 5911 komada otpada (76,41 kg), a u 2025. godini 2968 komada (39,71 kg), što ukazuje na smanjenje količine otpada nakon prve akcije čišćenja, provedene 2024. godine, bez dodatnih zabilježenih akcija čišćenja u međuvremenu. Dominantna kategorija otpada u obje godine bila je plastika, s ukupno 8237 komada mase 90,09 kg, pri čemu su najčešće pronađeni plastični čepovi, poklopci i razlomljeni komadi plastike. Na sakupljenom otpadu zabilježen je obraštaj brojnih morskih organizama, čime je potvrđeno da naplavljeni otpad predstavlja sekundarno stanište i podlogu za kolonizaciju organizama. Tijekom 2024. godine najčešće pronađena vrsta bio je rak vitičar *Lepas anatifera* (20 jedinki), dok su često zabilježeni i predstavnici koljena *Bryozoa* (9 kolonija) i porodice *Serpulidae* (9 jedinki). Nadalje, pronađeni su i organizmi iz koljena *Mollusca* te predstavnici porodice smeđih algi *Sargassum* sp. i jedinke vrste raka vitičara vrste *Euraphia depressa*. Godine 2025. obraštajem su dominirale smeđe alge *Sargassum* sp. i *Dictyota* sp. te crvena alga *Laurencia* sp. Najviše predmeta s obraštajem pronađeno je na manjoj plaži između plaže Paviri sjever i Plaže Šterna, dok na plaži Sveti Stipan obraštaj nije zabilježen. Rezultati ukazuju da akcije uklanjanja otpada imaju značajan pozitivan učinak na smanjenje zagađenja obalnog iorskog staništa jer uklonjeni otpad više nema mogućnost povratka u more djelovanjem valova i struja. Posebno je važno pravovremeno uklanjanje makroplastičnog otpada prije njegove degradacije u mikroplastiku, koja predstavlja dugoročnu prijetnju morskim organizmima.

Ključne riječi: morski obraštaj, morski otpad, makroplastika

Biofouling of marine organisms on stranded marine litter and analysis of beach litter on the Southeastern Istrian coast over a two-year period

Petra, Burić¹, Lea, Lulić¹, Neven, Iveša¹, Moira, Buršić¹, Ines, Kovačić¹

¹*Faculty of Natural Sciences, Juraj Dobrila University of Pula, Zagrebačka 30, 52100 Pula, Croatia*

e-mail address: petra.buric@unipu.hr

Study conducted on four beaches in Paviri Bay, Šišan, Municipality of Ližnjan, southeastern Istria, included the collection, categorization, and analysis of marine litter, with particular emphasis on fouling communities inhabiting stranded debris. Two waste collection activities were conducted in April 2024 and 2025. In 2024, 5911 waste items (76.41 kg) were collected, compared to 2968 items (39.71 kg) in 2025, indicating a reduction in waste after the initial cleanup, with no intervening cleanup activities recorded. Plastic was the dominant litter category in both years, accounting for 8,237 items with a combined mass of 90.09 kg. The most common items were plastic caps, lids, and fragmented plastic debris. Numerous marine fouling organisms were recorded on the collected litter, confirming that stranded debris can serve as a secondary habitat and colonization substrate for marine species. In 2024, the most frequently recorded species was the goose barnacle *Lepas anatifera* (20 individuals), while representatives of the phylum Bryozoa (9 colonies) and the family Serpulidae (9 individuals) were also commonly observed. Organisms belonging to the phylum *Mollusca*, representatives of the brown alga *Sargassum* sp., and individuals of the barnacle species *Euraphia depressa* were also identified. In 2025, fouling communities were dominated by the brown algae *Sargassum* sp., *Dictyota* sp. and red alga *Laurencia* sp. The highest number of litter items was recorded on the beach located between Paviri North and Šterna Beach, whereas no fouling organisms were observed on Sveti Stipan Beach. The results indicate that marine litter removal campaigns significantly reduce coastal and marine habitat pollution, as removed debris can no longer return to the sea by waves and currents. Particular importance should be given to the timely removal of macroplastic debris before degradation into microplastics, which represent a long-term threat to marine organisms.

Keywords: marine fouling, marine litter, macroplastic

Klimatske promjene i utjecaj temperature na bolesti u morskim ekosustavima

Bosiljka, Mustać¹, Bruna, Petani¹, Bruna, Babin¹, Dominik, Miočić¹, Luka, Tomljanović¹, Ivan, Župan¹, Slavica, Čolak¹

¹*Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska*

e-mail adresa: bmustac@unizd.hr

Bolesti riba najčešće nastaju kao posljedica složenih interakcija između uzročnika, domaćina i okoliša. Povećanje temperature mora mijenja postojeće geografske areale uzročnika bolesti. Rizik od unošenja patogena u otvorene uzgojne sustave kao što je uzgoj u plutajućim mrežnim kavezima teško je kontrolirati. Pouzdana metoda utvrđivanja patogena na divljoj populaciji i okolišu može poboljšati plan biosigurnosti i omogućava bolju pripremu preventivnih mjera zdravstvene zaštite uzgajane ribe. Cilj projekta „TIDE“ je utvrditi pouzdanost okolišne DNA metode za ranu dijagnostiku bolesti. Istraživanje će se usredotočiti na *Lactococcus garvieae*, *Aeromonas veronii*, betanodavirus koji uzrokuju velike gubitke u divlje i uzgajane ribe, a čije je pojavljivanje učestalije na temperaturama iznad 24 °C. Uzorci će se uzimati tri puta godišnje u periodu svibanj, srpanj i rujana. Za bakteriološku pretragu uzimat će se razmazi iz oka, bubrega, slezene, jetre, za virološku uzorci mozga i oka, parazitološki će se pregledati koža, škrge i probavni sustav. Uzorci mora za eDNA metode uzimat će se sa dva uzgajališta. Temperature mora uzimat će se na lokaciji uzgajališta sa sedam dubina. Uspostava protokola za ranu dijagnostiku uzročnika u ribi i moru unaprijedit će planove biosigurnosti za uzgajališta koje koriste plutajuće mrežne kaveze.

Ključne riječi: emergentne bolesti, divlja riba, marikultura, eDNA metoda

Climate change and temperature impact on disease in marine ecosystems

Bosiljka, Mustać¹, Bruna, Petani¹, Bruna, Babin¹, Dominik, Miočić¹, Luka, Tomljanović¹,
Ivan, Župan¹, Slavica, Čolak¹

¹*University of Zadar, Department of Ecology, agronomy and aquaculture, Trg Kneza Višeslava 9,
23 000 Zadar, Croatia*

e-mail address: bmustac@unizd.hr

Fish diseases often result from complex interactions among pathogens, hosts and the environment. Increasing sea temperatures are changing the existing geographic ranges of pathogens. The risk of introducing pathogens into open farming systems such as floating net cage farming is difficult to control. A reliable method for identifying pathogens in wild populations and the environment can improve the biosecurity plan and enable better preparation of preventive health protection measures for farmed fish. The aim of the “TIDE” project is to determine the reliability of environmental DNA methods for early disease diagnosis. The research will focus on *Lactococcus garvieae*, *Aeromonas veronii*, betanodavirus, which cause major losses in wild and farmed fish, and whose occurrence is more frequent at temperatures above 24 °C. Samples will be taken three times a year in May, July and September. Smears from the eye, kidney, spleen, liver will be taken for bacteriological examination, brain and eye samples for virological examination, and skin, gills and digestive system will be examined for parasitology. Sea samples for eDNA methods will be taken from two farms. Sea temperatures will be taken at the farm location from seven depths. The establishment of protocols for early diagnosis of pathogens in fish and the sea will improve biosecurity plans for farms using floating net cages.

Keywords: emerging diseases, wild fish, mariculture, eDNA method

Marikultura kao sustav ranog upozoravanja: opis najsjevernije jadranske populacije vrste *Pinctada radiata*

Kristina, Grozić¹, Marija, Fornažar¹, Luca, Privileggio¹, Dijana, Pavičić-Hamer¹, Anđela, Premzl², Mirta, Smoldaka Tanković¹, Daniela, Marić Pfannkuchen¹, Martin Andreas, Pfannkuchen¹, Ana, Baričević¹, Bojan, Hamer¹

¹*Institut Ruđer Bošković, Centar za istraživanje mora, Rovinj, Hrvatska*, ²*Centar za razvoj ribarstva i akvakulture Istarske županije (CERRA), Rovinj, Hrvatska*

e-mail adresa: kristina.grozic@irb.hr, bojan.hamer@irb.hr

Invazivne alohtone vrste predstavljaju sve izraženiji oblik antropogenog utjecaja na morski okoliš, osobito u osjetljivim i izmijenjenim priobalnim staništima kao što su područja marikulture. Jedinke zrakaste bisernice *Pinctada radiata* (Leach, 1814) zabilježene su tijekom rutinskog praćenja obraštaja na uzgajalištu dagnji i kamenica (*Mytilus galloprovincialis* i *Ostrea edulis*) u Limskom zaljevu, smještenom u sjevernom Jadranu. Cilj ovog rada bio je okarakterizirati ovu vrstu i procijeniti omogućuju li okolišni uvjeti u Limskom zaljevu održivost i dugoročnu uspostavu populacije *P. radiata* u sjevernom Jadranu. Morfološka obilježja karakteristična za bisernice, uključujući oblik ljušture, morfološka svojstva i sedefasti sloj ljušture, bila su ujednačena među jedinkama i potvrdila su njihovu pripadnost rodu *Pinctada*. Vrsta je dodatno potvrđena mitohondrijskim COI barkodiranjem i filogenetskim analizama, koje su jedinke iz Limskog zaljeva svrstale unutar haplotipova *P. radiata* utvrđenim u drugim dijelovima Sredozemnog odnosno Jadranskog mora. Rezultati ovog istraživanja ukazuju na kontinuirano sekundarno širenje unutar regije, a ne na pojedinačan, izolirani unos. Komplementarno praćenje temperature, saliniteta i drugih okolišnih parametara u Limskom zaljevu tijekom 2024.-2026. godine ukazuje da se lokalni uvjeti nalaze unutar potrebnog raspona za rast i razmnožavanje vrste *P. radiata*. Ovo istraživanje opisuje najsjeverniju uspostavljenu populaciju vrste *P. radiata* u Jadranskom moru te naglašava da su područja marikulture istodobno visokorizična žarišta i učinkovite platforme ranog upozorenja za alohtone vrste. Daljnja istraživanja bit će usmjerena na procjenu mogućnosti primjene ciljnih mjera kontrole i mogućeg iskorištavanja ove vrste.

Ključne riječi: marikultura, invazivni školjkaši, okolišni uvjeti, Lesepsijski migrant, praćenje alohtonih vrsta

Mariculture as an early-warning platform: Description of the northernmost Adriatic population of *Pinctada radiata*

Kristina, Grozić¹, Marija, Fornažar¹, Luca, Privileggio¹, Dijana, Pavičić-Hamer¹, Anđela, Premzl², Mirta, Smoldaka Tanković¹, Daniela, Marić Pfannkuchen¹, Martin Andreas, Pfannkuchen¹, Ana, Baričević¹, Bojan, Hamer¹

¹Ruđer Bošković Institute, Center for marine research, Rovinj, Croatia, ²Center for fisheries and aquaculture development of Region of Istria (CERRA), Rovinj, Croatia

e-mail address: kristina.grozic@irb.hr, bojan.hamer@irb.hr

Invasive non-indigenous species represent a growing form of anthropogenic impact on marine environment, particularly in vulnerable and affected coastal habitats such as mariculture areas. Specimens of the pearl oyster *Pinctada radiata* (Leach, 1814) were detected during routine biofouling monitoring at a mussel and oyster (*Mytilus galloprovincialis* and *Ostrea edulis*) shellfish farm in Lim Bay located in the northeastern Adriatic Sea. The aim of this work was to characterize this species and assess whether environmental conditions in Lim Bay will sustain the establishment and sustainability of *P. radiata* within the northern Adriatic. Morphological traits characteristic of pearl oysters, including shell shape, shell morphological properties and nacreous inner layers, were consistent across specimens and supported their assignment to the genus *Pinctada*. Species-level identification was confirmed using mitochondrial COI barcoding and phylogenetic analyses, which grouped Lim Bay individuals with *P. radiata* haplotypes from other Mediterranean and Adriatic areas. These findings suggest ongoing secondary spread within the region instead of a single, isolated introduction. Complementary high-resolution monitoring of temperature, salinity and other environmental parameters in Lim Bay during 2024-2026 showed that local conditions fall within the tolerance range known for *P. radiata* growth and reproduction. This finding describes the northernmost mariculture-associated established population of *P. radiata* reported so far in the Adriatic Sea and highlights mariculture areas as both high-risk sites and effective early-warning platforms for non-indigenous species. Further research will be undertaken to evaluate the possibilities of species-specific management strategies.

Keywords: shellfish mariculture, environmental conditions, invasive bivalves, Lessepsian migrant, non-indigenous species monitoring.

Procjena zdravstvenog stanja i somatskih indeksa škrpuna (*Scorpaena porcus*) u zadarskom akvatoriju

Marija, Jurica¹, Bruna, Babin¹, Petar, Zuanović¹, Rina, Milošević^{1,2}, Tomislav, Šarić¹, Ivan, Župan¹, Slavica, Čolak¹

¹Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska, ²Centar za geoprostorne tehnologije, Sveučilište u Zadru, Trg Kneza Višeslava 9., 23 000 Zadar, Hrvatska

e-mail adresa: mjurica@unizd.hr

Škrpun (*Scorpaena porcus*) je bentoska i teritorijalna vrsta iz porodice Scorpaenidae, rasprostranjena u Sredozemnom i Crnom moru te istočnom Atlantiku. Nastanjuje kamenita dna i livade posidonije u priobalnim područjima, a hrani se pretežno rakovima i manjim ribama. Sporiji rast i kasnije spolno sazrijevanje čine ga osjetljivim na pojačan ribolovni pritisak i promjene u okolišu. Na području Zadarske županije provedeno je istraživanje zdravstvenog stanja i bioloških pokazatelja škrpuna u trima funkcionalnim zonama različitog stupnja antropogenog utjecaja, uključujući područja ekološke mreže Natura 2000, zone marikulturnih aktivnosti i urbanizirana priobalna područja. Uzorkovanje je provedeno tijekom travnja, a jedinke su prikupljene iz gospodarskog ribolova. Laboratorijska obrada obuhvatila je biometrijska mjerenja i disekciju abdominalne šupljine radi izdvajanja jetre, gonada i visceralne mase. Na temelju dobivenih podataka izračunati su kondicijski i somatski pokazatelji: indeks kondicije (IK), hepatosomatski indeks (HSI), gonadosomatski indeks (GSI) i visceralni indeks (VSI), korišteni za procjenu fiziološkog i reproduktivnog stanja populacije. Zdravstveni pregled uključivao je vizualni pregled kože, peraja, škrge i unutarnjih organa na prisutnost makroskopskih nametnika. Kod škrpuna su preliminarno evidentirane četiri vrste nametnika, uz zabilježenu prostornu raspodjelu među istraživanim zonama. Dobiveni rezultati ukazuju na određene varijacije među zonama, no statistički značajne razlike nisu potvrđene. Preliminarni podaci predstavljaju osnovu za daljnja istraživanja i dugoročniji monitoring populacije škrpuna na istraživanom području.

Ključne riječi: *Scorpaena porcus*, biometrijski pokazatelji, parazitološki pregled, antropogeni utjecaj

Assessment of Health Status and Somatic Indices of Black Scorpionfish (*Scorpaena porcus*) in the Zadar Aquatory

Marija, Jurica¹, Bruna, Babin¹, Petar, Zuanović¹, Rina, Milošević^{1,2}, Tomislav, Šarić¹, Ivan, Župan¹, Slavica, Čolak¹

¹University of Zadar, Department of Ecology, agronomy and aquaculture, Trg Kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, Croatia, ²Center for Geospatial Technologies, University of Zadar, Trg Kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, Croatia

e-mail address: mjurica@gmail.com

The black scorpionfish (*Scorpaena porcus*) is a benthic and territorial species belonging to the family Scorpaenidae, distributed throughout the Mediterranean and Black Seas and the eastern Atlantic Ocean. It inhabits rocky substrates and *Posidonia oceanica* seagrass beds in coastal areas, feeding primarily on crustaceans and small fish. Its relatively slow growth and late sexual maturation make the species particularly vulnerable to increased fishing pressure and environmental changes. A study assessing the health status and biological indicators of black scorpionfish was conducted in Zadar County across three functional zones characterized by different levels of anthropogenic impact, including Natura 2000 protected areas, mariculture zones, and urbanized coastal areas. Sampling was carried out during April, and specimens were collected from commercial fisheries. Laboratory processing included biometric measurements and dissection of the abdominal cavity for the extraction of the liver, gonads, and visceral mass. Based on the obtained data, condition and somatic indices were calculated, including condition factor (CF), hepatosomatic index (HSI), gonadosomatic index (GSI), and viscerosomatic index (VSI), which were used to assess the physiological and reproductive status of the population. The health assessment included visual examination of the skin, fins, gills, and internal organs for the presence of macroscopic parasites. Four parasite taxa were preliminarily recorded in black scorpionfish, with spatial distribution patterns observed among the investigated zones. The obtained results indicate certain variations between zones; however, no statistically significant differences were confirmed. These preliminary findings provide a basis for further research and long-term monitoring of black scorpionfish populations in the studied area.

Keywords: *Scorpaena porcus*, biometric indicators, parasitological examination, anthropogenic impact

Razlike u koncentracijama perfluoralkilnih tvari (PFAS) između uzgojenih i divljih jedinki tune i orade

Nina, Bilandžić¹, Ines, Varga¹, Jelena, Kaurinović¹, Božica, Solomun Kolanović¹, Marija, Sedak¹, Ivana, Varenina¹, Maja, Đokić¹, Đurđica, Božić Luburić¹, Bruno, Čalopek¹, Slavica, Čolak², Bosiljka, Mustać², Bruna, Petani²

¹ Hrvatski veterinarski institut, Savska 143, 10000 Zagreb, Hrvatska; ² Sveučilište u Zadru, Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, Hrvatska

e-mail adresa: bilandzic@veinst.hr

Široka primjena PFAS spojeva dovela je do njihovog ispuštanja u okoliš gdje se akumuliraju i izuzetno su postojani. Istraživanja pokazuju veće koncentracije PFAS u vodenoj nego u kopnenoj bioti, te u životinjama u usporedbi s biljkama. Bioakumulacija PFAS u morskoj bioti zabilježena je na globalnoj razini. Više koncentracije PFAS određene su na višim trofičkim razinama što izaziva zabrinutost za vrste pri vrhu hranidbenog lanca. Konzumacija ribe se smatra glavnim putem izloženosti hranom za ljude. Cilj ovog istraživanja bio je istražiti razlike u koncentracijama 30 PFAS spojeva u uzorcima plavoperajne tune (*Thunnus thynnus*) i orade (*Sparus aurata*) između uzgojenih i divljih ulovljenih jedinki. Primjenom tekućinske kromatografije – tandemске spektrometrije masa (LC-MS/MS) kvantificirano je devet PFAS spojeva u uzgojenim te osam u divljim tunama. U uzorcima divljih orada kvantificirano je šest spojeva dok su u uzgojenim svi spojevi bili ispod granica detekcije. U ulovljenim divljim tunama utvrđene su značajno veće koncentracije PFAS u rasponu srednjih koncentracija od 0,032 do 1,18 µg/kg u odnosu na one određene za uzgojenu tunu od 0,007 do 0,76 µg/kg. Najviše srednje vrijednosti za divlje tune izmjerene su za PFTrDA (perfluorotridekanska kiselina), PFUnDA (perfluoroundekanska kiselina) i L-PFOS (linearni perfluorooktan sulfonska kiselina), sa koncentracijama 1,18, 0,63 i 0,58, µg/kg. Ukupna suma PFAS spojeva u divljim tunama bila je 3,92 µg/kg odnosno tri puta veća od uzgojenih tuna (1,28 µg/kg). U uzorcima divlje orade srednje koncentracije PFAS su određene u rasponu od 0,002 do 0,036 µg/kg, a najviša vrijednost je određena za PFTrDA. Ukupna suma PFAS je iznosila 0,12 µg/kg. Niti u jednom uzorku tuna i orada koncentracije PFOS nisu prelazile najvišu dopuštenu razinu od 2 µg/kg propisanu Uredbom (EU) 2023/915. Istraživanje je financirano sredstvima Europske unije – NextGenerationEU – projekt PFASsFoodWildlife.

Ključne riječi: perfluoroalkilne tvari, PFAS, tuna, orada, Jadransko more

Differences in concentrations of perfluoroalkyl substances (PFAS) between farmed and wild tuna and seabream

Nina, Bilandžić¹, Ines, Varga¹, Jelena, Kaurinović¹, Božica, Solomun, Kolanović¹, Marija, Sedak¹, Ivana, Varenina¹, Maja, Đokić¹, Đurđica, Božić Luburić¹, Bruno, Čalopek¹, Slavica, Čolak², Bosiljka, Mustać², Bruna, Petani²

¹ Croatian Veterinary Institute, Savska 143, 10000 Zagreb, Croatia; ² University of Zadar, Department of Ecology, Agronomy and Aquaculture, Trg kneza Višeslava 9, 23000 Zadar, Croatia

e-mail address: bilandzic@veinst.hr

The widespread use of PFAS compounds has resulted in their release into the environment, where they accumulate and exhibit extreme persistence. Studies indicate higher concentrations of PFAS in aquatic biota compared to terrestrial biota, and in animals relative to plants. Bioaccumulation of PFAS in marine organisms has been reported worldwide. Elevated concentrations of PFAS are observed at higher trophic levels, raising concerns for species at the top of the food chain. Fish consumption is considered the primary route of dietary exposure to PFAS for humans. The aim of this study was to investigate differences in the concentrations of 30 PFAS compounds in bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) and seabream (*Sparus aurata*) from farmed and wild-caught individuals. Using liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS), nine PFAS compounds were quantified in farmed tuna, and eight in wild. Six compounds were detected in wild seabream samples, while all compounds were below the detection limits in farmed ones. In wild tuna, significantly higher concentrations of PFAS were observed, with mean values ranging from 0.032 to 1.18 µg/kg, compared to farmed tuna, which ranged from 0.007 to 0.76 µg/kg. The highest mean levels in wild tuna were measured for PFTrDA (perfluorotridecanoic acid), PFUnDA (perfluoroundecanoic acid), and L-PFOS (linear perfluorooctane sulfonic acid), with values of 1.18, 0.63, and 0.58 µg/kg, respectively. The total PFAS levels in wild tuna was 3.92 µg/kg, approximately three times higher than in farmed (1.28 µg/kg). In wild seabream, mean PFAS concentrations ranged from 0.002 to 0.036 µg/kg, with the highest value recorded for PFTrDA. The total PFAS levels in seabream was 0.12 µg/kg. None of the tuna or seabream samples exceeded the maximal permitted PFOS concentration of 2 µg/kg, as established by Regulation (EU) 2023/915. This research was funded by the European Union's NextGenerationEU - PFASsFoodWildlife project.

Keywords: perfluoroalkyl substances, PFAS, tuna, sea bream, Adriatic Sea

Pametne plutače napajane EH tehnologijama za praćenje stanja mora

Saša, Zelenika¹, Petar, Gljušić¹, Marko, Perčić¹, Nina, Negovanović¹, Ivan, Prvonožec¹,
Ivan, Trgovac¹, Ante, Vukić¹, Bartol, Zemljak¹

¹ Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet te Centar za mikro- i nanoznanosti i tehnologije, Vukovarska
58, 51000, Rijeka, Hrvatska

e-mail adresa: szelenika@uniri.hr

Sve izraženiji učinci klimatskih promjena sve više utječu i na maritimne ekosustave pa se javlja potreba za kontinuiranim praćenjem njihova stanja koje omogućuje bolje razumijevanje rezultirajućih učinaka te pravovremeno upozoravanje i prevenciju. Optimizirani autonomni senzorski čvorovi, u obliku pametnih plutača koje omogućuju nadzor maritimnih ekosustava putem granularne senzorske mreže za prikupljanje podataka (npr. temperature mora, saliniteta, razine kisika, tlaka ili smjera i brzine vjetera), mogu tu predstavljati izuzetno značajan alat. U ovom će se radu opisati razvoj senzorskog sustava za praćenje stanja mora na daljinu, koji se temelji na senzorskim čvorovima napajanim tehnologijom prikupljanja i pretvorbe niskorazinske obnovljive energije iz okoliša (engl. *energy harvesting* – EH). Takvi sustavi omogućuju pretvorbu kinetičke i Sunčeve energije, ili toplinskih gradijenata, kao i njihove kombinacije putem hibridnih sustava, u upotrebljivu električnu energiju za napajanje senzora i pripadajuće niskopotrošne elektronike (jedinica za pohranu, obradu i prijenos podataka). Podaci prikupljeni široko rasprostranjenom mrežom autonomnih senzorskih čvorova obradit će se algoritmima umjetne inteligencije (UI), radi dobivanja, primjerice, preciznih prognoza i upozorenja na nepovoljne vremenske i uvjete u okolišu. Predloženi pristup temelji se, dakle, na sinergijskoj integraciji zelene i digitalne tranzicije. Doista, optimalno raspoređena mreža autonomnih pametnih plutača napajanih EH tehnologijama, koje u primjerenim radnim ciklusima šalju podatke u oblačne podatkovne repozitorije, mogla bi omogućiti kontinuirano praćenje parametara povezanih s maritimnim ekosustavima pa tako i analizu podataka te predviđanje temeljeno na UI. Temeljito će se istražiti i površinske prevlake kritičnih elemenata predloženog sustava koje omogućuju ublažavanje zaprljanja i biološkog obrastanja u morskom okolišu. Validacija razvijenih senzorskih čvorova pilotirat će se u Kvarnerskom zaljevu.

Ključne riječi: distribuirana mreža za praćenje stanja, prikupljanje i pretvorba niskorazinske energije, optimizirana konstrukcija, UI analiza podataka, sprečavanje biološkog obrastanja

EH-based smart buoys for marine monitoring

Saša, Zelenika¹, Petar, Gljušić¹, Marko, Perčić¹, Nina, Negovanović¹, Ivan, Prvonožec¹,
Ivan, Trgovac¹, Ante, Vukić¹, Bartol, Zemljak¹

¹ *University of Rijeka, Faculty of Engineering & Centre for Micro- and Nanosciences and Technologies, Vukovarska 58, 51000, Rijeka, Croatia*

e-mail address: szelenika@uniri.hr

As the ever-growing effects of climate change increasingly influence marine ecosystems, the necessity for respective continuous monitoring, aimed at better understanding the occurring effects, also enabling early warning and prevention, is evident. In this frame, optimised autonomous sensor nodes – in the form of smart buoys, enabling the monitoring of marine ecosystems via an ubiquitous and granular sensor network for the collection of relevant data (e.g., sea temperature, salinity, oxygen levels, pressure, or wind directions and speeds), can represent an invaluable tool. In this work, activities related to developing remote marine sensing based on sensor nodes powered by energy harvesting (EH) principles, i.e., transducing low-level renewable environmental energy (especially kinetic and solar energy or thermal gradients - or their combination via hybrid systems) into usable electric energy for powering the sensors with the associated low-power electronic systems (data logging, elaboration and transmission units) will be described. The data acquired by a widely distributed network of the resulting autonomous sensor nodes is then to be elaborated by using artificial intelligence (AI) algorithms, to obtain e.g., accurate forecasts and alerts of adverse weather and environmental conditions. The proposed approach relies, thus, on the synergistic integration of twin green and digital transitions. In fact, an optimally distributed network of autonomous EH-powered smart monitoring buoys that, in suitable duty cycles, transmit data to cloud-based repositories, could provide the continuous monitoring of the parameters related to marine ecosystems, enabling AI-based data analytics and prediction. Surface coatings of the critical elements of the proposed system, mitigating soiling and biofouling in marine environments, will also be thoroughly investigated. The validation of the thus deployed sensor nodes will be carried out in a pilot area in the Kvarner Gulf.

Keywords: distributed monitoring network, energy harvesting, optimised design, AI data analytics, anti-biofouling

Ispod površine: Izazovi u generiranju kvalitetne batimetrije za modeliranje poplava i kvalitete vode

Mirko Barada^{1,3}, Charlotte Lyddon¹, Aaron Furnish², Thomas W. Clough², Peter E. Robins²

¹ *School of Environmental Sciences, University of Liverpool, Liverpool, L69 3GP, UK,* ² *School of Ocean Sciences, Bangor University, Marine Centre Wales, Menai Bridge, LL59 5AB, UK,* ³ *Zavod za istraživanje mora i okoliša, Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54
10000 Zagreb, Hrvatska*

e-mail adresa: mibarada@irb.hr, mirko.barada@liverpool.ac.uk

Batimetrijski podaci važni su za smanjenje pogrešaka u modeliranju obalnih procesa, što na kraju može poboljšati upravljanje obalom i ublažavanje rizika od različitih hazarda. U ovom radu predstavljamo prvi nacionalni digitalni model reljefa (DMR) rezolucije 20 m za englesku obalu i estuarije za primjenu u modeliranju kvalitete vode i hidrodinamičkom modeliranju. Rad je dio početne faze projekta INVEST (Environment Agency, UK), čiji je cilj bio izraditi modele kvalitete vode za engleske estuarije temeljene na budućim klimatskim projekcijama. Batimetrija se proizvela integracijom više prostornih skupova podataka: UKHO izmjere (rezolucije < 5 m), obalni LiDAR (EA) (1-2 m), Copernicus EMODnet (~100 m) i, gdje je bilo dostupno, riječne multibeam izmjere (< 5 m). Dodatno kartiranje riječnog korita provedeno je tamo gdje podaci nisu bili dostupni, osobito u gornjim dijelovima estuarija. Sveobuhvatna predobrada provedena je na svim skupovima podataka, uključujući harmonizacije datuma, rješavanje preklapajućih pitanja i standardizaciju formata. DMR-ovi su generirani korištenjem dviju metoda interpolacije: Topo to Raster (TTR), koja proizvodi zaglaćane DEM-ove namijenjene općim hidrološkim primjenama, i Radial Basis Function (RBF) – Multiquadratic (MQ) interpolaciju, koja zadržava stvarne ulazne podatke i stvara oštrije površine. Prosječna srednja kvadratna pogreška za internu ocjenu točnosti varira između 1,064 m (DEM_{TTR}) i 0,211 m (DEM_{RBFMQ}), sukladno sličnim batimetrijskim studijama. Rad pokazuje kako konfiguracija terena te način njegova prikaza može igrati važnu ulogu u modeliranju buduće kvalitete vode u estuarijima. Dobiveni DEM-ovi su dostupni na zahtjev i pružaju koherentnu, visokorezolucijsku predodžbu batimetrije engleske obale i estuarija. U završnom dijelu uspoređujemo mogućnosti generiranja batimetrije visoke rezolucije u Engleskoj i Hrvatskoj, analizirajući kvalitetu i dostupnost javnih batimetrijskih skupova podataka.

Ključne riječi: batimetrija, modeliranje, Engleska obala i estauriji, kvaliteta vode

Beneath the Surface: Challenges in Building a Good Bathymetry for Modelling Floods and Water Quality

Mirko Barada^{1,3}, Charlotte Lyddon¹, Aaron Furnish², Thomas W. Clough², Peter E. Robins²

¹ *School of Environmental Sciences, University of Liverpool, Liverpool, L69 3GP, UK,* ² *School of Ocean Sciences, Bangor University, Marine Centre Wales, Menai Bridge, LL59 5AB, UK,* ³ *Division for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Bijenicka cesta 54 10000 Zagreb, Croatia*

e-mail address: mibarada@irb.hr, mirko.barada@liverpool.ac.uk

Bathymetric data is important for reducing uncertainty in coastal process modelling, which can ultimately improve coastal management and hazard mitigation. In this work we present the first nationwide, consistent 20 m resolution digital elevation model (DEM) of England's coast and estuaries for the application in water quality and hydrodynamics modelling. The paper was part of the initial phase of the INVEST (Environment Agency, UK) project, which developed water quality models for English estuaries based on the future climate projections. The bathymetry is produced through the integration of multiple spatial datasets: Hydrographic Office surveys (< 5 m resolution), the Environment Agency coastal LiDAR (1-2 m), Copernicus EMODnet bathymetry (~100 m) and, where available, river multibeam surveys (< 5 m). Additional riverbed mapping was performed where data were unavailable, particularly in upper estuarine reaches. Comprehensive preprocessing was completed on all datasets, including datum harmonisations, resolving overlapping issues, and format standardisation. The DEMs were generated using two interpolation methods: Topo to Raster (TTR), which produces smoothed DEMs intended for general hydrological applications, and Radial Basis Function (RBF) multiquadratic (MQ) interpolation, which preserves input values and creates sharp surface gradients. The average RMSE for internal accuracy assessment varies between 1.064 m (DEM_{TTR}) and 0.211 m (DEM_{RBFMQ}), in accordance with similar bathymetric studies. The paper shows how the terrain configuration and can play an important role in modelling future water quality in estuaries. The resulting DEMs are available on demand and provide a coherent, high-resolution representation of England's coastal and estuarine bathymetry. In the final part, we compare the possibilities of generating high-resolution bathymetry in England and Croatia, by analysing the quality and availability of the public bathymetric datasets.

Key words: bathymetry, modelling, English coast and estuaries, water quality

Obalna adaptabilnost u kontekstu klimatskih promjena i turističkih pritisaka: slučaj Supetra

Marin, Papić¹, Sanja, Gašparović²

¹Sveučilište u Zagrebu Arhitektonski fakultet, ²Sveučilište u Zagrebu Arhitektonski fakultet

e-mail adresa: mpapic@arhitekt.hr, sgaspar@arhitekt.hr

Klimatske promjene predstavljaju jedan od ključnih izazova za planiranje i upravljanje obalnim područjima Jadrana, osobito u turistički opterećenim naseljima osjetljivima na porast razine mora, ekstremne vremenske uvjete i sezonske pritiske korištenja prostora. Istodobno, obalni prostori nose izražene krajobrazne, kulturne i identitetske vrijednosti koje zahtijevaju integrirani i lokalno prilagođen pristup planiranju. Rad se temelji na istraživanju provedenom u sklopu diplomske radionice na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Kroz istraživanje temeljeno na projektu propituju se mogućnosti razvoja modela prilagodbe obalnog područja Supetra na klimatske promjene, s naglaskom na integraciju okolišnih, prostornih i društvenih specifičnosti otoka Brača. Istraživanje se temelji na pregledu postojećih teorijskih i strateških pristupa planiranju obalne adaptabilnosti te analizi lokalnog konteksta koji uključuje prirodne značajke obale, turističke pritiske, infrastrukturna ograničenja, kulturni krajolik i potrebe lokalne zajednice. Posebna pažnja usmjerena je na odnos između razvoja turizma, očuvanja javnog obalnog prostora i jačanja otpornosti prostora na klimatske promjene. Metodologija istraživanja temelji se na integraciji pregleda teorijskih i strateških pristupa planiranju obalne adaptabilnosti s prostorno-tipološkom analizom obalnog područja Supetra. Istraživanje uključuje analizu planske dokumentacije, klimatskih projekcija, prostornih obrazaca korištenja obale i lokalnih razvojnih pritisaka te kartiranje različitih tipova obalnih sekvenci i njihovih razvojnih konflikata. Sintezom teorijskih smjernica i lokalnih prostornih specifičnosti definiraju se preliminarni kriteriji i modeli planiranja adaptabilnih obalnih prostora. Očekuje se da će istraživanje pridonijeti razumijevanju mogućnosti integracije klimatske prilagodbe u suvremeno urbanističko planiranje jadranskih obalnih naselja, uz afirmaciju obale kao prostora otpornosti, javnog dobra i održivog razvoja.

Ključne riječi: obalna adaptabilnost, klimatska otpornost, obalni krajolik, održivi razvoj

Coastal Adaptability in the Context of Climate Change and Tourism Pressures: The Case of Supetar

Marin, Papić¹, Sanja, Gašparović²

¹ *University of Zagreb Faculty of Architecture*, ² *University of Zagreb Faculty of Architecture*

e-mail address: mpapic@arhitekt.hr, sgaspar@arhitekt.hr

Climate change represents one of the key challenges for the planning and management of Adriatic coastal areas, particularly in tourism-oriented settlements vulnerable to sea-level rise, extreme weather events, and seasonal pressures on spatial use. At the same time, coastal areas embody significant landscape, cultural, and identity values that require integrated and locally adapted planning approaches. This paper is based on research conducted within a graduate design studio at the University of Zagreb Faculty of Architecture. Through a research-by-design approach, the study explores possibilities for developing adaptation models for the coastal area of Supetar in response to climate change, with an emphasis on integrating the environmental, spatial, and social specificities of the island of Brač. The research combines a review of theoretical and strategic approaches to coastal adaptability planning with an analysis of the local context, including coastal morphology, tourism pressures, infrastructural constraints, cultural landscape, and community needs. Attention is given to the relationship between tourism development, preservation of public coastal space, and strengthening spatial resilience to climate change. The methodology integrates theoretical and strategic approaches to coastal adaptability planning with a spatial-typological analysis of Supetar's coastal area. The study includes the analysis of planning documentation, climate projections, spatial patterns of coastal use, and local development pressures, as well as mapping different coastal sequences and their spatial conflicts. Through the synthesis of theoretical guidelines and local spatial specificities, preliminary criteria and planning models for adaptable coastal spaces are defined. The research is expected to contribute to a better understanding of integrating climate adaptation into contemporary urban planning of Adriatic coastal settlements, while affirming the coastline as a space of resilience, public value, and sustainable development.

Keywords: coastal adaptability, climate resilience, coastal landscape, sustainable development

Polaganje podmorskih kabela i cjevovoda u kontekstu prostornog planiranja hrvatskoga isključivog gospodarskog pojasa

Ivica, Kinder¹

¹*Sveučilište obrane i sigurnosti „Dr. Franjo Tuđman“, Zagreb, Ilica 256b*

e-mail adresa: ivica.kinder@sois-ft.hr

Republika Hrvatska (RH) je još Odlukom o proglašenju isključivoga gospodarskog pojasa (IGP) iz 2021. odredila nekoliko važnih polazišta za njegovo prostorno planiranje započeto 2024. Naglašavajući svoja suverena prava i jurisdikciju, RH je IGP ujedno deklarirala kao prostor u kojemu sve države uživaju slobodu plovidbe, preleta, polaganja podmorskih kabela i cjevovoda te drugih međunarodnopravno dopuštenih upotreba mora. Posebna dimenzija pridana je zaštiti i očuvanju prirodnih bogatstava i morskog okoliša, s osloncem na suradnju s obalnim državama u Jadranskom i Sredozemnom moru. Posljedično, cilj prostornog planiranja IGP-a RH jest uravnoteženo i održivo korištenje IGP-a u okviru sveukupnog morskog područja RH i cjelovitog ekosustava Sredozemnog mora. Svrha ovoga rada jest pobliže istražiti sadržaj prostornog planiranja glede polaganja podmorskih kabela i cjevovoda s obzirom na zaštitu i očuvanje prirodnih bogatstava i morskog okoliša, te utvrditi kakva se ograničenja predviđaju u svezi s polaganjem. Na temelju analize planske dokumentacije i pridruženih akata, autor utvrđuje kako oni polaze od Strateške studije o utjecaju na okoliš. Posljedično, provedbene odredbe predviđaju niz praktičnih mjera za svaku pojedinu gospodarsku aktivnost, pa tako i za polaganje podmorskih kabela i cjevovoda. Autor izvodi zaključak kako te mjere predstavljaju praktičan vodič za postizanje ravnoteže između suverenih prava RH, sloboda drugih država te međunarodnopravnih obveza u svezi sa zaštitom i očuvanjem prirodnih bogatstava i morskog okoliša. Ujedno, autor smatra kako provedbene odredbe odražavaju viziju hrvatskog zakonodavca za postizanje odgovarajućeg pravnog okvira, ali i predstavljaju smjernice za proaktivnost državnih tijela RH u odnosu na potencijalne investitore, kako bi se spomenute praktične mjere primjenjivale već u fazi premjeravanja za određivanje pravaca polaganja.

Ključne riječi: Jadransko more, isključivi gospodarski pojas, prostorno planiranje, podmorski kabeli, morski okoliš

Laying of Submarine Cables and Pipelines in the Context of the Spatial Planning of the Croatian Exclusive Economic Zone

Ivica, Kinder¹

¹*Dr. Franjo Tuđman Defense and Security University, Zagreb, Ilica 256b*

e-mail address: ivica.kinder@sois-ft.hr

The Republic of Croatia (Croatia) established several key principles for the spatial planning of its Exclusive Economic Zone (EEZ) in the 2021 Decision on the Declaration of the EEZ, with the planning initiated in 2024. Emphasizing its sovereign rights and jurisdiction, Croatia declared the EEZ as a zone where all states enjoy freedoms of navigation, overflight, laying of submarine cables and pipelines, etc. Particular attention is given to the protection and preservation of natural resources and the marine environment, relying on cooperation with coastal states in the Adriatic and Mediterranean Seas. Thus, the objective of the spatial planning of the EEZ is the balanced and sustainable use of the EEZ within the entirety of Croatia's maritime area and the integrated ecosystem of the Mediterranean Sea. The purpose of this study is to examine the content of spatial planning regarding the laying of submarine cables and pipelines, considering the protection and conservation of natural resources and the environment, and to identify related restrictions. Based on the analysis of the planning materials and associated documents, the author determines that they are derived from the Strategic Environmental Assessment Study. Accordingly, the implementation provisions contain a series of practical measures for each economic activity, including the laying of submarine cables and pipelines. In the author's view, these measures are a practical guide to achieve a balance between Croatia's sovereign rights, the freedoms of other states and international obligations related to the protection and preservation of natural resources and environment. Moreover, the author holds that the implementation provisions reflect the Croatian legislator's vision of an appropriate legal framework, as well as guidance for proactive action by Croatian authorities toward potential investors, to ensure that practical measures are applied already during the survey for determining routes for laying.

Keywords: Adriatic Sea, exclusive economic zone, spatial planning, submarine cables, marine environment

Od podataka o oceanu do plesa: suradnje znanstvenika i umjetnika

Valentina, Turk¹, Alenka, Malej², Patricija, Mozetič²

¹Nacionalni inštitut za biologiju, Morska biološka postaja Piran, Fornače 41, Piran, Slovenija, ²Nacionalni inštitut za biologiju, Morska biološka postaja Piran, Fornače 41, Piran, Slovenija

e-mail adresa: vturk.krajnc@gmail.com

Iako često povlačimo granice između znanosti i umjetnosti, one imaju mnogo toga zajedničkog i savršeno se međusobno nadopunjuju. Interdisciplinarna suradnja postaje sve važnija u pomaganju javnosti da razumije složena otkrića, istraživačke nalaze i nove tehnologije. Ovaj suradnički pristup je ključan dok se suočavamo s globalnim izazovima poput pandemija i velikih promjena u okolišu ili klimi uzrokovanih ljudskim djelovanjem. Znanstvenici sa Morske biološke postaje uspostavili su partnerstvo s umjetnicima Akademije likovnih umjetnosti i dizajna Sveučilišta u Ljubljani kako bi naša otkrića predstavili javnosti. Kroz veliku izložbu prikazali smo povijest istraživanja uz geološke, fizikalno-kemijske i biološke značajke Tršćanskog zaljeva. Projekti su transformirali aktualne izazove – poput onečišćenja mora, cvjetanja želatinoznog planktona i smanjenja razine kisika – u vizualno privlačne prezentacije i instalacije. Tijekom posljednja tri desetljeća, ove jedinstvene okolišne značajke nadahnule su brojne istraživače i umjetnike da istražuju baštinu solana, tradicionalnu proizvodnju soli, biogene formacije, bioraznolikost, zaštitu morskih ekosustava i neželjene utjecaje morske infrastrukture na naglo povećanje broja populacije meduza. Kako bismo obilježili 30. obljetnicu Slovenskog nacionalnog odbora Međuvladine oceanografske komisije, koji od 1994. godine promiče uključivanje javnosti u znanost o moru kroz razne inicijative za podizanje svijesti, objavili smo zbirku svih izložbi i umjetničkih instalacija koje su izradili istraživači Morske biološke postaje u suradnji s umjetnicima, pod naslovom Zrcala mora: Gdje se znanost i umjetnost susreću. Izvanredan primjer te interdisciplinarnе suradnje je predstavljanje uzroka i posljedica dva glavna fenomena karakteristična za Tršćanski zaljev: smanjenje razine kisika i naglog povećanja broja meduza.

Ključne riječi: Pomorska znanost i umjetnost, Interdisciplinarna suradnja, Tršćanski zaljev, Angažman javnosti, Ekološka svijest

From Ocean Data to Dance: Scientist-Artist Collaborations

Valentina, Turk¹, Alenka, Malej², Patricija, Mozetič²

¹*National Institute of Biology, Marine Biology Station Piran, Fornače 41, Piran, Slovenia* ²*National Institute of Biology, Marine Biology Station Piran, Fornače 41, Piran, Slovenia*

e-mail address: vturk.krajnc@gmail.com

Although we often draw boundaries between science and art, they have much in common and complement each other perfectly. Interdisciplinary collaboration is becoming increasingly important in helping the public understand complex discoveries, research findings, and emerging technologies. This collaborative approach is essential as we face global challenges such as pandemics and large-scale environmental or climate changes caused by human activities. Scientists at the Marine Biology Station established a partnership with artists from the Academy of Fine Arts and Design, University of Ljubljana, to present our findings to the public. Through a major exhibition, we showcased the history of research alongside the geological, physicochemical, and biological characteristics of the Gulf of Trieste. The projects transformed pressing issues—such as marine pollution, blooms of gelatinous plankton, and oxygen depletion—into visually engaging presentations and installations. Over the past three decades, these unique environmental traits have inspired numerous researchers and artists to explore the heritage of salt pans, traditional salt production, biogenic formations, biodiversity, marine ecosystem protection, and the unintended impacts of marine infrastructure on jellyfish blooms. To mark the 30th anniversary of the Slovenian National Committee of the Intergovernmental Oceanographic Commission, which has promoted public engagement in marine science through various awareness-raising initiatives since 1994, we have published a collection of all exhibitions and art installations created by researchers at the Marine Biology Station in collaboration with artists, titled *Mirrors of the Sea: Where Science and Art Meet*. An outstanding example of this interdisciplinary collaboration is the presentation of the causes and consequences of two major phenomena characteristic of the Gulf of Trieste: oxygen depletion and jellyfish blooms.

Keywords: Marine science and art, Interdisciplinary collaboration, Gulf of Trieste, Public engagement, Environmental awareness