



Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Geološki odsjek

Ivan Vlašiček

**UVOĐENJE NOVOG METODOLOŠKOG
PRISTUPA U ANALIZU DUGOROČNIH
PROMJENA FITOPLANKTONA U
JADRANSKOM MORU**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2025.



Sveučilište u Zagrebu

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Geološki odsjek

Ivan Vlašiček

**UVOĐENJE NOVOG METODOLOŠKOG
PRISTUPA U ANALIZU DUGOROČNIH
PROMJENA FITOPLANKTONA U
JADRANSKOM MORU**

DOKTORSKI RAD

Mentor:

dr.sc. Daniela Marić Pfannkuchen

Zagreb, 2025.



University of Zagreb

FACULTY OF SCIENCE

Department of Geology

Ivan Vlašiček

**INTRODUCING A NOVEL
METHODOLOGICAL APPROACH TO THE
ANALYSIS OF LONG-TERM
PHYTOPLANKTON CHANGES IN THE
ADRIATIC SEA**

DOCTORAL DISSERTATION

Mentor:

dr.sc. Daniela Marić Pfannkuchen

Zagreb, 2025.

Ovaj rad izrađen je u sklopu projekata JERICO S3 (Joint European Research Infrastructure of Coastal Observatories: Science, Service, Sustainability) i HRZZ UIP 2020-7868 Molekularne životne strategije fitoplanktona u Jadranu.

Zahvale:

Hvala svima!

UVOĐENJE NOVOG METODOLOŠKOG PRISTUPA U ANALIZU DUGOROČNIH PROMJENA FITOPLANKTONA U JADRANSKOM MORU

IVAN VLAŠIČEK

Centar za istraživanje mora, Institut Ruđer Bošković

Fitoplankton, glavni primarni proizvođač u morskim ekosustavima, ima ključnu ulogu u globalnim biogeokemijskim ciklusima i funkcioniranju okoliša u cjelini. Ova doktorska disertacija istražuje dugoročne promjene u strukturi fitoplanktonske zajednice u sjevernom Jadranu u razdoblju od 2000. do 2024. godine, koristeći tradicionalnu svjetlosnu mikroskopiju te naprednu protočnu citometriju sa zapisom pulsa. Klaster analiza pokazuje fitoplanktonskih zajednica različitog sastava, od kojih neke pokazuju vremensku stabilnost, dok su se druge pojavljivale sporadično ili se počele javljati kasnije tijekom promatranog razdoblja. Razvoj zajednica snažno je povezan s okolišnim čimbenicima, uključujući duljinu dana i dostupnost hranjivih tvari, posebno fosfora. Kroz istraživano razdoblje, sezonalnost fitoplanktona postala je manje predvidiva, vjerojatno zbog neredovitog dotoka slatke vode i sve nestabilnijih meteoroloških uvjeta. Protočna citometrija, potpomognuta snimanjem fotografija, pokazala se učinkovitom u praćenju trendova raznolikosti i brojnosti usporedivih s mikroskopijom, unatoč manjem broju identificiranih svojti. Uzorkovanje visoke učestalosti omogućilo je otkrivanje brzih promjena u zajednici, što je posebno izraženo tijekom pojave sluzavih nakupina 2024. godine. Optička svojstva fitoplanktonskih stanica također su se mijenjala u prostoru i vremenu, što odražava prilagodbu stanica okolišnim uvjetima, a ne promjene u taksonomskoj pripadnosti. Iako protočna citometrija ne zamjenjuje svjetlosnu mikroskopiju, ona pruža vrijedne dopunske uvide u dinamiku fitoplanktona. Predlaže se uključivanje protočne citometrije sa zapisom pulsa i uzorkovanja visoke učestalosti u dugoročne programe praćenja kako bi se unaprijedila razlučivost i ekološka relevantnost podataka o fitoplanktonu u obalnim sustavima.

(Broj stranica: 185; Broj slika: 33, Broj priloga: 10, Broj referenci: 210)

Ključne riječi: fitoplankton, svjetlosna mikroskopija, dugoročne promjene, protočna citometrija, ekologija

Mentor: dr.sc. Daniela Marić Pfannkuchen, viši znanstveni suradnik

Ocjenjivači:

prof.dr.sc. Zrinka Ljubešić

dr.sc. Ljiljana Iveša

dr.sc. Ana Baričević

prof.dr.sc. Petar Kružić (zamjena)

INTRODUCING A NOVEL METHODOLOGICAL APPROACH TO THE ANALYSIS OF LONG-TERM PHYTOPLANKTON CHANGES IN THE ADRIATIC SEA

IVAN VLAŠIČEK

Center for marine research, Ruđer Bošković Institute

Phytoplankton, the main primary producer in marine ecosystems, plays a crucial role in global biogeochemical cycles and in the functioning of the environment as a whole. This doctoral dissertation investigates long-term changes in the structure of the phytoplankton community in the northern Adriatic Sea over the period from 2000 to 2024, using traditional light microscopy and advanced pulse-shape recording flow cytometry. Cluster analysis reveals phytoplankton communities of different compositions, some of which exhibit temporal stability, while others appeared sporadically or emerged later during the observation period. The development of these communities is strongly linked to environmental factors, including day length and nutrient availability, especially phosphorus. Over the study period, phytoplankton seasonality became less predictable, likely due to irregular freshwater inflow and increasingly unstable meteorological conditions. Flow cytometry, supported by imaging, proved effective in tracking diversity and abundance trends comparable to those obtained by microscopy, despite a lower number of identified taxa. High-frequency sampling made it possible to detect rapid shifts in community structure, which was particularly evident during the mucilage events of 2024. The optical properties of phytoplankton cells also varied in space and time, reflecting cellular adaptations to environmental conditions rather than changes in taxonomic composition. Although flow cytometry does not replace light microscopy, it provides valuable complementary insights into phytoplankton dynamics. It is proposed that pulse-shape recording flow cytometry and high-frequency sampling be included in long-term monitoring programs to enhance the resolution and ecological relevance of phytoplankton data in coastal systems.

(Number of pages: 185; Number of figures: 33; Number of appendices: 10; Number of references: 210)

Key words: phytoplankton, light microscopy, long-term changes, flow cytometry, ecology

Supervisor: Daniela Marić Pfannkuchen, Senior Research Associate

Reviewers:

Professor Zrinka Ljubešić, PhD

Ljiljana Iveša, PhD

Ana Baričević, PhD

Professor Petar Kružić, PhD (substitute)

Thesis summary:

Phytoplankton, a diverse group of unicellular photosynthetic organisms, are the primary producers of organic matter in the ocean and play a critical role in global biogeochemical cycles, particularly in the fixation of carbon through photosynthesis and the production of oxygen-accounting for most of the oxygen generated on Earth (P. Falkowski 2012). Their ecological importance is magnified in coastal environments, where they form the base of the food web and respond dynamically to environmental forcing such as nutrient loading, light availability, temperature, and hydrodynamics. In the northern Adriatic Sea, a semi-enclosed, shallow and heavily anthropogenically influenced basin, phytoplankton dynamics are particularly complex due to the interplay of freshwater inflows, stratification, circulation patterns, and nutrient enrichment, making this region one of the most eutrophic parts of the Mediterranean (Degobbi i sur. 2000). This dissertation aimed to investigate spatial and temporal patterns in phytoplankton community structure over both long and short timescales, employing a combination of traditional and modern methodological approaches, light microscopy (Utermöhl 1958) and flow cytometry with pulse shape recording (Dubelaar i sur. 1999; Dubelaar i Gerritzen 2000) - to examine trends in abundance, diversity, optical properties, and ecological responses. One major objective was to assess whether the long-term phytoplankton community shows stable or shifting patterns and to identify possible drivers of these changes. Cluster analysis applied to long-term datasets (2000–2024) revealed the existence of several distinct phytoplankton communities that varied in their persistence and composition. Some assemblages, such as those dominated by *Cerataulina pelagica* or *Skeletonema* spp., were found to be historically stable but declined in frequency over time, while others emerged more recently, possibly indicating regime shifts or altered environmental baselines. These community structures were shown to be strongly influenced by ecological factors: for instance, communities dominated by *Thalassionema nitzschioides* and *Cerataulina pelagica* were associated with longer day lengths typical of summer, whereas communities characterized by *Skeletonema* sp. were linked to seasonal pulses in phosphorus availability. Such findings confirm that phytoplankton distribution and composition in the Adriatic are tightly coupled with light regimes and nutrient dynamics, reinforcing earlier work on seasonal succession in coastal phytoplankton (Revelante i Gilmartin 1976).

Importantly, this study observed a gradual loss of predictability in phytoplankton phenology over the 24-year observation period. Regular seasonal patterns traditionally observed in spring and autumn blooms were increasingly replaced by more irregular and sporadic events. This shift suggests a destabilization of the seasonal regime, potentially driven by more erratic freshwater inputs and atmospheric conditions, including changes in wind forcing, rainfall, and temperature anomalies - conditions consistent with regional manifestations of climate change (Giani, Djakovac, i sur. 2012; Marić i sur. 2012). The observed unpredictability of blooms, coupled with increasing frequency of extreme events such as mucilage formations, points to an ecosystem under transition. The mucilage phenomenon - a dramatic accumulation of exopolymeric substances often linked to intense phytoplankton activity - has long been a signature feature of the northern Adriatic, particularly during summer stagnation periods. The most recent episode in 2024 provided a unique opportunity to apply high-frequency sampling and trait-based analysis to understand the fine-scale dynamics of phytoplankton community shifts during such events. Using in situ sensor arrays in combination with flow cytometry and microscopy, the study was able to capture rapid changes in community structure that traditional, lower-frequency sampling would have missed. These results emphasize the added value of high-resolution temporal sampling in capturing transient ecological processes that are increasingly important in the context of a warming and more variable marine environment.

The integration of flow cytometry with pulse shape analysis and microphotography was a central methodological advancement in this thesis. This approach allowed for rapid, high-throughput quantification of phytoplankton cells and the characterization of their optical properties (e.g., forward and side scatter, red and orange fluorescence), which are indicative of cell size, shape, internal complexity, and pigment composition. A key hypothesis tested was whether flow cytometry could provide abundance and diversity patterns comparable to those obtained via light microscopy. Results showed that, while microscopy still offers higher taxonomic resolution - particularly for rare or morphologically complex taxa - flow cytometry was capable of capturing equivalent trends in community composition, richness, and temporal dynamics, particularly when supported by a library of reference microphotographs and prior cytometric fingerprinting. This confirms the utility of flow cytometry as a complementary tool for long-term monitoring and ecological research, especially in terms of its efficiency and potential for automation. Moreover, the optical properties of phytoplankton cells were found to vary both spatially and temporally, often reflecting environmental conditions such as nutrient stress, photoadaptation, or shifts in community structure. Interestingly, these optical changes

did not always align with taxonomic identity, suggesting that phytoplankton traits may exhibit plasticity in response to environmental gradients, making trait-based approaches highly informative for ecosystem assessment (Litchman *et al.* 2010).

In the context of method comparison, the thesis concludes that although flow cytometry cannot entirely replace light microscopy, it serves as a powerful complementary technique that expands the resolution of ecological observations, particularly for picoplankton and small nanoplankton groups that are often underrepresented or misclassified in microscopic counts. In particular, pulse shape recording adds a layer of morphofunctional detail that enhances ecological interpretation, enabling detection of shifts in life forms, physiological states, and population-level changes. Additionally, the capacity of flow cytometry to produce large volumes of data in real time or near-real time is especially valuable in adaptive monitoring contexts, such as during harmful algal blooms (HABs), where rapid response and detailed characterization are critical. The findings from this work thus support the recommendation that flow cytometry with pulse shape analysis be incorporated into regular phytoplankton monitoring in the northern Adriatic, especially during seasonal cruises and along established transects. Furthermore, the implementation of high-frequency sampling protocols is advocated to complement traditional methodologies and capture short-term variability that may be critical to understanding and predicting community shifts and ecosystem health. These recommendations align with a broader movement in marine ecology toward the integration of traditional taxonomy-based approaches with functional and trait-based metrics, which provide deeper insights into ecological processes and system responses to anthropogenic pressures.

In conclusion, this dissertation highlights the changing nature of phytoplankton communities in the northern Adriatic and the need for adaptive, high-resolution monitoring strategies to track ecological change. By combining long-term datasets, advanced analytical tools, and novel methodologies, it reveals the complex interplay of environmental factors, biological responses, and methodological constraints in understanding marine microbial dynamics. It also provides empirical support for the idea that coastal ecosystems are undergoing structural and functional changes that challenge traditional assumptions about seasonal predictability and community stability. The insights gained here contribute to a growing body of literature emphasizing the importance of integrating multiple lines of evidence - taxonomic, functional, and environmental - in ecological monitoring and underscore the urgency of preparing monitoring systems to deal with increased variability and ecological uncertainty in the ocean.

Podaci o mentoru:

Daniela Marić Pfannkuchen viša je znanstvena suradnica u Centru za istraživanje mora Instituta Ruđer Bošković u Rovinju. Doktorirala je 2013. godine na interdisciplinarnom studiju Oceanologije Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu s disertacijom „*Potencijalno toksične dijatomeje roda Pseudo-nitzschia u sjevernom Jadranu: ekološke, taksonomske i molekularne značajke*“. Od 2015. godine članica je Laboratorija za evolucijsku ekologiju, a njezin znanstveni interes usmjeren je na taksonomiju, ekologiju i fiziologiju fitoplanktona. Ima bogato iskustvo u analizi dugoročnih podataka sjevernog Jadrana te u istraživanju planktonskih organizama.

Tijekom karijere sudjelovala je u brojnim nacionalnim i međunarodnim projektima. Trenutno vodi projekt Hrvatske zaklade za znanost „*Molekularne životne strategije fitoplanktona Jadranskog mora*“, kao i radni paket u sklopu projekta *ALIENA (ALigning Efforts to control Non-indigenous species in the Adriatic Sea)*, koji se provodi kroz Interreg Hrvatska–Italija. Također, kao stručnjakinja za kvalitativne i kvantitativne analize fitoplanktona, sudjeluje u provedbi dvaju monitoring projekata (Hrvatske vode i Referentni centar za more).

Aktivna je i u znanstvenoj zajednici kao recenzentica brojnih međunarodnih časopisa te kao ocjenjivačica projektnih prijedloga za Hrvatsku zakladu za znanost i Hrvatsku akreditacijsku agenciju. Autorica je 44 znanstvena rada objavljena u međunarodnim časopisima, koji su citirani više od 1200 puta, a njezin h-indeks iznosi 18. Redovito sudjeluje na međunarodnim znanstvenim skupovima, kako kroz izlaganja tako i kao članica organizacijskih odbora.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1. Fitoplankton.....	3
2.2. Ekologija fitoplanktona	6
2.3. Sjeverni Jadran	9
2.4. Fitoplankton u sjevernom Jadranu.....	10
2.5. Sluzave nakupine	11
2.6. Metode praćenja zajednice.....	14
2.6.1. Svjetlosna mikroskopija.....	14
2.6.2. Protočna citometrija sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje)	18
2.7. Klastering i analiza podataka.....	26
3. Ciljevi i hipoteze	27
4. MATERIJALI I METODE	28
4.1. Praćenje dugoročnih promjena u zajednici fitoplanktona	28
4.1.1. Uzorkovanje	28
4.1.2. Okolišni čimbenici	29
4.1.3. Mikroskopska analiza fitoplanktona	29
4.1.4. Statistička analiza zajednice fitoplanktona.....	29
4.2. Protočna citometrija sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje)	31
4.2.1. Analiza protočnom citometrijom	31
4.2.2. Određivanje funkcionalnih grupa	32
4.2.3. Analiza mikrofotografija	34
4.2.4. Morfologija stanica i optička svojstva funkcionalnih grupa	34
4.2.5. Klaster analiza vrsta s mikrofotografija	35
4.3. Analiza fitoplanktona na Po transektu 2023. - 2024.....	35
4.4. Praćenje brzih promjena u zajednici fitoplanktona	36
5. REZULTATI.....	38
5.1. Dugoročne promjene u zajednici fitoplanktona	38
5.1.1. Sastav fitoplanktona	38
5.1.2. Klaster analiza fitoplanktona.....	38
5.1.3. Indeksi raznolikosti u klasterima	42

5.1.4.	Utjecaj okolišnih čimbenika na zajednicu fitoplanktona i predvidljivost zajednice	43
5.2.	Usporedba brojnosti i raznolikosti fitoplanktona dobivenih metodama svjetlosne mikroskopije i protočne citometrije sa zapisom pulsa	46
5.3.	Primjena protočne citometrije sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje) u analizi fitoplanktona na Po transektu 2023. - 2024.	51
5.3.1.	Klaster analiza i raznolikost zajednice	51
5.3.2.	Utjecaj okolišnih čimbenika na brojnosti funkcionalnih skupina i optička svojstva fitoplanktona	54
5.4.	Analiza fitoplanktonske zajednice tijekom fenomena sluzavih nakupina 2024. godine	57
5.4.1.	Oceanografski čimbenici	57
5.4.2.	Brojnosti fitoplanktona dobivene protočnom citometrijom sa zapisom pulsa	58
5.4.3.	Taksonomski sastav fitoplanktona	60
5.4.4.	Morfološke karakteristike fitoplanktona i utjecaj okolišnih čimbenika	63
6.	RASPRAVA	67
6.1.	Dugoročne promjene fitoplanktonske zajednice	67
6.1.1.	Utjecaj okolišnih čimbenika na zajednicu fitoplanktona	68
6.1.2.	Stabilnost obrazaca u prostoru i vremenu	72
6.2.	Usporedba protočne citometrije sa zapisom pulsa i svjetlosne mikroskopije	73
6.3.	Primjena protočne citometrije sa zapisom pulsa u analizi fitoplanktona Po transekta u razdoblju 2023.-2024.	76
6.4.	Brze promjene u zajednici fitoplanktona i analiza fenomena sluzavih nakupina 2024. godine	78
7.	ZAKLJUČCI	85
8.	LITERATURA	87
9.	PRILOZI	106
10.	ŽIVOTOPIS	180
11.	ZNANSTVENA AKTIVNOST I PUBLIKACIJE	182

1. UVOD

Glavni primarni proizvođači organske tvari u moru su fotosintetski jednostanični mikroorganizmi poznati pod skupnim nazivom fitoplankton. Ovi organizmi, nošeni morskim strujama odgovorni su za većinu proizvedenog kisika u Zemljinoj atmosferi (Sekerci i Petrovskii 2015). Fitoplankton sudjeluje u biogeokemijskim ciklusima ugljika: putem fotosinteze fiksira atmosferski ugljik i pretvara ga u organsku tvar (prilikom čega nastaje kisik) koja potom bude prenesena na više trofičke razine ili bude supstrat za respiraciju. Osim toga, organska tvar proizvedena u gornjim slojevima tone u dublje slojeve i na morsko dno te tako bude zadržana kroz duže vremensko razdoblje. Osim ugljika, fitoplankton je bitan i u ostalim biogeokemijskim procesima poput kruženja dušika, fosfora, silicija i ostalih elemenata koji su bitni za njihov rast (P. Falkowski 2012). Ovi organizmi posebno su značajni u obalnim morima gdje kombinacija plitkog mora i jakog utjecaja hranjivih tvari s kopna (eutrofikacija) ili dna (resuspenzija) povoljno utječe na njihov rast (Brush i sur. 2020). U takvim uvjetima fitoplankton može postati vrlo brojna pri čemu nastaju vidljive diskoloracije mora koje se nazivaju obojenim plimama ili cvjetanjima mora. Cvjetanja mora prirodna su pojava ili reakcija na antropogeni utjecaj te povećani donos hranjivih tvari. U određenim situacijama ova cvjetanja mogu imati štetan utjecaj, kako na živi svijet tako i na gospodarstvo zbog anoksije, produkcije toksina ili neugodnog izgleda mora. U tim slučajevima govori se o fenomenima štetnih cvjetanja mora ili HAB-ovima (od. eng. *Harmful Algal Bloom*, Lassus i sur. 2015; Hallegraeff 2004).

Jadransko more je primjer mora s jakim obalnim utjecajem, u kojemu se ističe njegov sjeverni dio. U sjevernom Jadranu se tako međusobno isprepliću utjecaji slatke vode, složeni obrasci morskih strujanja i činjenica da u njegovom najsjevernijem dijelu dubina ne prelazi 40 m čime je cijeli vodeni stupac povoljan za rast fitoplanktona. Donos hranjivih tvari s kopna i stvaranje složenih zatvorenih sustava morskih struja sjeverni Jadran je najproduktivniji dio Jadrana (Degobbi i sur. 2000). Zbog guste naseljenosti ovo je područje i pod snažnim antropogenim utjecajima poput iskorištavanja prirodnih resursa, industrijske aktivnosti, intenzivnog prometa te donosa tvari s kopna (Coll i sur. 2012; Worm i sur. 2009) što dodatno utječe na fitoplanktonsku zajednicu.

Za sjeverni Jadran posebno je karakteristična je i povremena pojava velikih sluzavih nakupina koje nastaju uslijed aktivnosti fitoplanktona, a zbog neugodnog izgleda i utjecaja na turizam (Lassus i sur. 2015), kao i na živi svijet zbog same sluzi i njome povezane anoksije (Degobbi

i sur. 2000; Giani, Djakovac, i sur. 2012; Devescovi i Ivesa 2007). Zadnji takav fenomen zabilježen je 2024 godine (Vilibić i sur. 2025; Hadjal i sur. 2025).

Proučavanje fitoplanktona u sjevernom Jadranu provodi se dugi niz godina. Prva sustavna istraživanja počela su u kasnom 19. stoljeću i početkom 20. stoljeća s pionirskim radovima na taksonomiji i kategorizaciji fitoplanktona (Kützing 1844; Grunow 1863; Schiller 1913). Tijekom sredine 20. stoljeća počela su redovita krstarenja istraživačkim brodovima kojima su dobivene detaljnije spoznaje sukcesija fitoplanktona, odnosno izmjena njihovih skupina i životnih oblika tijekom godine te promjene u dinamici same populacije potaknute okolišnim uvjetima (Noelia Revelante i Gilmartin 1976; N. Revelante i Gilmartin 1976). 1973 počela su redovita krstarenja istraživačkog broda "Vila Velebita" Centra za istraživanje mora u Rovinju (Zavodnik 1979) koji je korišten i tijekom prikupljanja podataka za izradu ove disertacije.

U kasnom 20. i ranom 21. stoljeću učestala cvjetanja mora i pojave sluzavih nakupina potaknuli su detaljnije proučavanje tih fenomena (Stachowitsch, Fanuko, i Richter 1990; Degobbis, Malej, i Umani 1999; Najdek i sur. 2002; Cornello, Boscolo, i Giovanardi 2005; De Lazzari i sur. 2008). Konačno, krajem 20. i početkom 21. stoljeća započinje sustavno praćenje uvjeta u moru i fitoplanktonske zajednice omogućujući nove spoznaje i intenzivna istraživanja (Aubry i sur. 2012; Bernardi Aubry i Acri 2004; Daniela Marić i sur. 2012; Neri i sur. 2022; Cabrini i sur. 2012; Skejić i sur. 2024; Vascotto, Mozetič, i Francé 2021). Fitoplankton u sjevernom Jadranu pokazuje sezonalne obrasce u brojnosti i raznolikosti, primjerice, proljeće i jesen su razdoblja kada zbog složenog međusobnog utjecaja vjetrova, donosa slatke vode, temperature i strujanja brojnosti fitoplanktona budu najveće (Aubry i sur. 2012; Bernardi Aubry i Acri 2004; Marić i sur. 2012; Neri i sur. 2022; Cabrini i sur. 2012; Aubry i sur. 2006).

Prethodno navedena istraživanja ukazala su nasloženu dinamiku razvoja fitoplanktona, s redovitim vrhuncima brojnosti i raznolikosti u rano proljeće i jesen s povremenim povećanjima u brojnosti u ljetnim mjesecima. Utjecaj rijeke Po ističe se kao dominantan ekološki čimbenik na dinamiku razvoja zajednice. Fitoplankton je analiziran uglavnom tradicionalnom metodom svjetosne mikroskopije (Utermöhl 1958). U ovoj disertaciji, po prvi puta bit će analizirani i rezultati dobiveni novijim metodama poput protočne citometrije sa zapisom pulsa (Dubelaar i sur. 1999; Dubelaar i Gerritzen 2000) i *in situ* plutače s integriranim meteorološkim i oceanografskim senzorima. Ovim metodama je prvi puta detaljno istražena fitoplanktonska zajednica u recentnoj pojavi spomenutih sluzavih nakupina.

U ovoj doktorskoj disertaciji obradit će se dugoročni niz podataka, (2000. – 2024. godina) kako bi se vidjele dugoročne promjene u fitoplanktonskoj zajednici i utjecaj okolišnih čimbenika na njenu brojnost i raznolikost. Dugoročni nizovi podataka bit će diskutirani i uspoređeni s drugim

relevantnim istraživanjima i s rezultatima dobivenim novijom metodom protočne citometrije sa zapisom pulsa, s ciljem testiranja primjenjivosti te metode kao zamjenu ili nadopunu tradicionalnoj metodi.

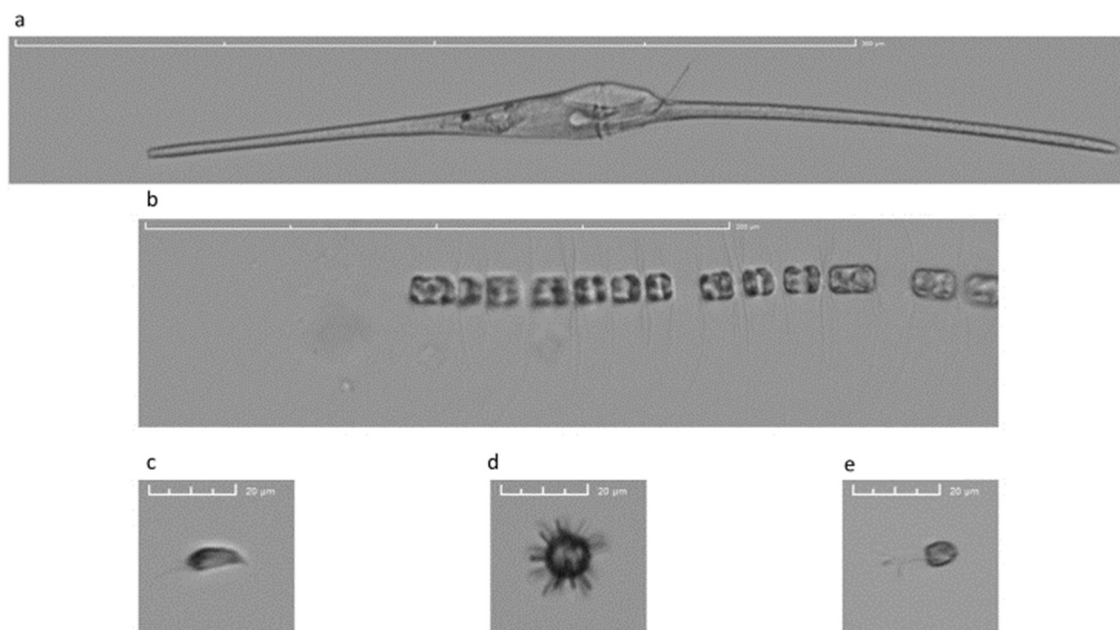
2. PREGLED LITERATURE

2.1. *Fitoplankton*

Fitoplankton (od starogrčkog: φυτόν (fiton): biljka i πλαγκτός (planktos): lualica) je pojam koji označava sve fotosintetske organizme koji se ne mogu značajno kretati vlastitom snagom, već je njihova porstorna raspodjela uvjetovana cirkulacijom morske vode. Zbog toga, fitoplankton je životni oblik organizma i grupni pojam koji obuhvaća organizme iz različitih taksonomskih skupina i različitih veličina. S obzirom na taksonomiju, fitoplanktonski organizmi pripadaju dvjema domenama živog svijeta: bakterije i eukarioti. Bakterijski fitoplankton (bakterioplankton) čine bakterije iz odjela Cyanobacteria (cijanobakterije, modrozelenne alge). Cijanobakterije su evolucijski najstariji grupu fotosintetskih organizama, pa tako i fitoplanktona, a prevladavaju u morima još od arhaika (Simon i sur. 2009). Razvijaju se u velikom broju vrsta, veličina, a mogu biti kolonijalne ili jednostanične. Iako je raznolikost vrsta u ovoj grupi velika, u morima brojnošću dominiraju jednostanične vrste iz rodova *Prochlorococcus* (Chisholm i sur. 1988) i *Synechococcus* (Waterbury i sur. 1979; Olson, Vaulot, i Chisholm 1985) koji su ujedno i najmanji fitoplanktonski organizmi. Osim toga, cijanobakterije mogu biti i u većim filamentoznim kolonijama koje su evolucijski stariji oblik (Sánchez-Baracaldo 2015), a danas su češće u slatkim vodama, gdje čine važan dio fitoplanktonske zajednice za razliku od mora. Iznimka su obalna područja poput Baltičkog mora (Paerl 2012). Cijanobakterije su igrale ključnu ulogu u razvoju eukariotskog fitoplanktona budući da plastidi (kloroplasti), organeli koji vrše fotosintezu u eukariota potječu od cijanobakterija (endosimbiotska teorija). Nekoliko takvih događaja tijekom evolucije eukariota uvelike je uvjetovalo njihovu klasifikaciju i osobine. U takozvanoj primarnoj endosimbiozi nastala je supergrupa Archeplastida s tri glavne linije fotosintetskih eukariota: crvenom, zelenom i glaukofitima (Falkowski i sur. 2004). U zelenu liniju ubrajaju se zelene alge (Chlorophyta, uključujući i kopnene biljke) kao i grupe koje su nastale sekundarnom endosimbiozom zelenih algi i eukariota poput Euglenophyta. U crvenu liniju ubrajaju se crvene alge (Rhodophyta) i skupine koje su nastale sekundarnom endosimbiozom njih i ostalih eukariota: dinoflagelati (Dinoflagellata), kriptofiti (Cryptophyta), silikoflagelati

(Dictyochophyceae), dijatomeje (Bacillariophyta), zlatno-smeđe alge (Chrysophyceae), haptofiti (Haptophyta, uključujući i kokolitoforide) i druge skupine (Falkowski i sur. 2004; Adl i sur. 2019; Burki i sur. 2020). Važno je napomenuti kako ovi organizmi imaju i različit sastav fotosintetskih pigmenata što omogućuje njihovu klasifikaciju različitim tehnikama, što će kasnije biti objašnjeno na primjeru metodologije korištene u ovom radu.

Osim taksonomske raznolikosti, fitoplankton posjeduje i veliku morfološku te funkcionalnu raznolikost. Morfološki gledano, fitoplankton uglavnom čine jednostanični mikroorganizmi. Raspon veličina ovih organizama je velik: od 0.2 do 200 μm . Zbog različite važnosti pojedinih veličinskih skupina u ekosustavu, poput uloge u hranidbenim mrežama, iskorištavanja hranjivih tvari i doprinosa biogeokemijskim ciklusima, fitoplankton se dijeli na veličinske frakcije: pikofitoplankton (0.2 - 2 μm), nanofitoplankton (2 - 20 μm), mikrofotoplankton (20 - 200 μm , Sieburth, Smetacek, i Lenz 1978). Treba naglasiti kako je ova podjela, kao i druge, zasnovana na veličini pora filtera korištenih prilikom istraživanja frakcija (Lane i Goldman 1984; Pierella Karlusich i sur. 2023). U piko frakciju ubrajaju se cijanobakterije iz rodova *Prochlorococcus* i *Synechococcus* te razni eukarioti. U nano frakciji nalaze se brojne skupine bičaća, poput kriptofita, kloroficeja, kokolitoforida, kao i sitni dinoflagelati te dijatomeje i ostali. Konačno, u mikro frakciji prevladavaju dijatomeje i dinoflagelati uz druge skupine poput silikoflagelata, zlatno-smeđih algi, filamentoznih cijanobakterija i ostalih. Vrlo važno je reći da ova podjela fitoplanktona nije povezana s taksonomijom već s njihovom ulogom u okolišu. Primjeri fitoplanktonskih organizama prikazani su na **Slici 1**.



Slika 1. Primjeri fitoplanktonskih organizama nađenih u sjevernom Jadranu. a: Dinophyceae, *Tripos fusus* (Ehrenberg) F. Gomez, 2013; b: Bacillariophyceae, *Bacteriastrum jadrantum* Godrijan, Maric et Pfannkuchen, 2012; c: Cryptophyceae; d: Prymnesiophyceae, *Rhabdolithes claviger* (G.Murray & Blackman) Voeltzkow, 1902; e: Chlorophyta

Osim veličine, druge važne karakteristike fitoplanktonskih organizama su oblik stanica te jednostanična odnosno kolonijalna organizacija. Velika većina ovih organizama su jednostanični sferični organizmi, pogotovo oni najmanji, u piko i nano frakcijama. Male sferične stanice pokazuju veliki omjer površine spram volumena što im omogućuje brže uzimanje hranjivih tvari, kao i lakše lebdenje u vodenom stupcu. Za velike stanice uglavnom vrijedi suprotno (Finkel i sur. 2010; Litchman i sur. 2010). U malim frakcijama također prevladavaju bičaši, koji se mogu samostalno kretati u malim veličinskim skalama kao i stanice bez značajne stanične stijenke. Iznimka su kokolitoforidi kojima je stanica prekrivena kalcitnim pločicama (kokoliti).

U mikrofrakciji postoji veća raznolikost organizacija i oblika pa tako stanice brojnih skupina dijatomeja i dinoflagelata posjeduju izvrate stanice poput šiljastih nastavaka koji mogu biti ravni, zakrivljeni i različito raspoređeni u prostoru. Osnovni oblik stanice može dolaziti u formama kugle, elipsoida, prizme, valjka, piramide i raznim kombinacijama tih oblika. Pojedine stanice mogu biti izdužene ili spljoštene oko različitih osi što im daje više ili manje štapićasti oblik. Stanice dinoflagelata posjeduju bičeve, za razliku od dijatomeja koje zbog toga tonu, što je bitan faktor smrtnosti u njihovoj populaciji. Smatra se da je jedna od svrha tih raznolikih oblika i seta na stanicama da sprječavaju njihovo tonjenje (Durante i sur. 2019). Vrlo

česta pojava kod nekih dijatomeja i dinoflagelata je da tvore lančaste kolonije. To također doprinosi zaštiti od tonjenja (Padisák, Soróczki-Pintér, i Rezner 2003), migraciji unutar vodenog stupca (Lovecchio i sur. 2019) te iskorištavanju hranjivih tvari i svjetla (Naselli-Flores i Barone 2011). Osim samog oblika stanice i građa stanične stijenke je vrlo raznolika pa tako, primjerice, dijatomeje posjeduju silikatnu frustulu, a dinoflagelati celuloznu teku (Simon i sur. 2009).

2.2. *Ekologija fitoplanktona*

Fitoplankton je glavni izvor organske tvari u morskom ekosustavu, kao i glavni izvor atmosferskog kisika (Sekerci i Petrovskii 2015). Za svoj rast koristi Sunčevu svjetlost, ugljični dioksid i otopljene hranjive soli. Zbog ovisnosti o svjetlosti, fitoplankton je moguće pronaći u prvih 200 m vodenog stupca, odnosno u fotičkoj zoni, gdje procesom fotosinteze stvaraju organsku tvar. Brojni organizmi koriste i dodatne strategije za dobivanje ugljika poput miksotrofije i kleptoplastije. Miksotrofija uključuje kombinaciju autotrofije (fotosinteza) i heterotrofije i česta je pojava u gotovo svim redovima dinoflagelata (Stoecker 1999) i velikom broju morskih cilijata (trepetljikaša, Stoecker, Michaels, i Davis 1987; Pierce i Turner 1992). Zbog toga je ponekad teško povući granicu između fitoplanktona i zooplanktona. Odnosi postaju još zamršeniji ukoliko se uzme u obzir da brojni dinoflagelati i cilijati mogu zadržati autotrofni plijen ili njegove plastide kao endosimbionte, pa se taj fenomen naziva kleptoplastijom. Samim time, može se reći kako kleptoplastija je početni korak u endosimbiozi, odnosno procesu nastanka novih organela iz prethodno slobodnoživućih stanica. U slučaju dinoflagelata radi se o terciarnoj endosimbiozi jer plastidi potječu od onih skupina kod kojih se već dogodila sekundarna endosimbioza (Gagat i sur. 2014; Falkowski i sur. 2004). Izvor tih plastida mogu biti kriptofiti, dijatomeje, haptofiti i ostali organizmi (Johnson i Beaudoin 2019; Gagat i sur. 2014).

Osim ugljika, za rast ovih organizama potrebne su i otopljene hranjive soli koje su izvor ostalih elemenata potrebnih za izgradnju i funkcioniranje stanica. Glavni makronutrijenti su dušikove soli (nitriti, nitrati i amonij), fosfor (ortofosfati i ostali anorganski te organski fosfor), metali (silicij, željezo, kalcij) te razni mikronutrijenti poput bakra, cinka, molibdena i ostalih. Za optimalan rast stanica potreban je optimalan molarni omjer dostupnih kemijskih elemenata. Za ugljik, dušik i fosfor optimalnim se smatra Redfieldov omjer (C:N:P = 106:16:1) budući da taj omjer tih elemenata u morskoj vodi odražava njihov omjer u stanicama (A. C. Redfield, Ketchum, i Richards 1963; Alfred C. Redfield 1934). Samim time dušik je glavni ograničavajući element za primarnu produkciju. Limitacija dušikom izražena je u

stratificiranim morima, primjerice u oceanskim vrtlozima (Bristow i sur. 2017; Browning i Moore 2023). Stanice koriste dušik u formi nitratnih (NO_3^-) nitritnih (NO_2^-) ili amonijevih (NH_4^+) iona. Dušikovi spojevi u more dolaze iz atmosfere, rijeka, razgradnjom organskih tvari, te antropogenim utjecajem (Gruber 2008). Neke cijanobakterije mogu doprinijeti ukupnom budžetu dušikovih spojeva procesom nitrifikacije, iako su te vrste češće u tropskim morima (Simon i sur. 2009). U eutrofnim obalnim morima čest ograničavajući element je fosfor, prilikom čega spomenuti Redfieldov omjer ne bude ostvaren ($\text{N:P} > 16:1$). Glavni izvor fosfora u morima su rijeke koje donose čestični otopljeni fosfor u more, a značajan je i antropogeni unos. Najčešće dolazi u obliku otopljenog ortofosfata (PO_4^{3-}) te u sastavu organskih tvari (Paytan i McLaughlin 2007). Limitacija fosforom događa se upravo zbog velike ovisnosti njegove koncentracije o njegovom unosu u more rijekama (Bristow i sur. 2017). Osim fosfora, i drugi elementi poput željeza i silicija mogu biti limitirajući, a čest je i fenomen ko-limitacije hranjivim solima (Bristow i sur. 2017; Browning i Moore 2023).

Limitacije hranjivim solima bitno utječu na sastav i funkcioniranje fitoplanktonske zajednice. Primjerice, limitacija fosforom može uzrokovati promjene u brzini rasta populacija što se očituje u sastavu vrsta, budući da one tada prevladavaju one prilagođenije tim uvjetima (Ingrid Ivančić i sur. 2012). Prilagodbe uključuju promjene u metaboličkim putevima, ekspresiju enzima alkalne fosfataze te sposobnost skladištenja fosfora i njegovo učinkovitije korištenje (Lin, Litaker, i Sunda 2016). Također, nedostatak fosfora može promijeniti morfologiju stanica poput promjene u debljini stanica ili njezinih dijelova, sadržaju klorofila (Smodlaka Tanković, Baričević, Ivančić, i sur. 2018; Kužat i sur. 2022) i fosfolipida (Gašparović i sur. 2013, 2023). Osim hranjivih soli, glavni limitirajući ekološki čimbenici su svjetlost, temperatura i salinitet. Fizikalni čimbenici poput miješanja vodenog stupca uvjetuju raspored planktonskih organizama kao i resuspenziju mineraliziranih hranjivih tvari iz pridnenih slojeva. Smatra se kako upravo miješanje vode (turbulencija) u fotičkoj zoni ima glavnu ulogu u inicijaciji povećanja brojnosti fitoplanktonskih organizama, posebice u proljeće kada više svjetlosti dopire u dublje slojeve vode, a miješanje vode bude ograničeno u gornjim slojevima (Sverdrup 1953). Svjetlost uvjetuje i koji će morfotipovi prevladavati budući da manje stanice bolje uspijevaju u uvjetima manjeg osvjetljenja (Finkel 2001; Riegman i sur. 1993; Sommer i sur. 2017). Veće stanice, s druge strane pružaju bolju zaštitu od pretjeranog osvjetljenja (fotoprotekcija). Isto tako, svjetlost utječe i na raznolikost vrsta pa će tako velike dijatomeje prevladavati u uvjetima fluktuacije svjetla, za razliku od pikoplanktona koji ima drugačiji sastav fotosintetskih pigmenata i prilagodbe fotosustava II. (Key i sur. 2010). Salinitet je jedan od ekoloških čimbenika koji također utječe na fitoplankton. U slatkim vodama dominiraju

drugačije vrste i skupine: velik broj vrsta filamentoznih cijanobakterija, zelenih algi i dinoflagelata dok su, primjerice kokolitoforidi gotovo odsutni. S druge strane, U morima prevladavaju dijatomeje, kokolitoforidi, silikoflagelati, dinoflagelati i s malo vrsta cijanobakterija (Kilham i Hecky 1988). Ove razlike uvjetovane salinitetom uočljive su u ekosustavima sa snažnim gradijentom saliniteta poput Baltičkog mora gdje je vidljiva razlika između gotovo slatke vode gdje ljeti dominiraju filamentozne cijanobakterije i slaniye vode gdje dijatomeje prevladavaju tijekom većeg dijela godine (Gasiūnaitė i sur. 2005). Osim toga, promjene u salinitetu mogu biti pokazatelj utjecaja slatke vode, često obogaćene hranjivim solima čiji omjeri mogu biti različiti od onih optimalnih za rast fitoplanktona. Tako je, primjerice, nizak salinitet u poluzatvorenim morima pokazatelj je limitacije fosforom (Cai i sur. 2024). Temperatura je također važan limitirajući ekološki čimbenik koji utječe na brzinu rasta populacije. Viša temperatura znači veću stopu rasta (Sherman i sur. 2016), iako previsoke temperature mogu izazvati stres (Rajadurai i sur. 2005). Niske temperature dovode do slabijeg rasta populacije kao i stvaranja cista kako bi se preživjeli nepovoljni uvjeti. Temperatura utječe i na raznolikost vrsta pa će u toplijim morima dinoflagelati pokazivati veće brojnosti, za razliku od dijatomeja koje preferiraju proljeće i jesen kada zbog miješanja vodenog stupca dolazi do pada temperature (Totti i sur. 2000; Aubry i sur. 2012). Ovdje je očito i da raslojavanje vodenog stupca (stratifikacija) ima velik utjecaj budući da dinoflagelati mogu samostalno plivati i održavati se u vodenom stupcu, za razliku od dijatomeja koje su prilagođene životu u uvjetima miješanja mora.

Već je spomenuto kako je miješanje mora bitan čimbenik za rast, raspored i selekciju morfoloških osobina fitoplanktona. Ukoliko se stave u odnos miješanje mora i dostupnost hranjivih soli tada je moguće dobiti idealizirani dijagram koji prikazuje životne oblike fitoplanktona koji dolaze u stanjima sustava određenim tim dvama čimbenicima. Taj prikaz naziva se Margalefova mandala i na njoj je vidljiva zamjena životnih oblika karakteriziranih brzim rastom populacije (r vrste) s onima koji se sporije razmnožavaju, ali više ulažu u rast stanica (k vrste). U uvjetima jakog miješanja mora i niske dostupnosti hranjivih soli teško će opstati bilo koji životni oblik (takozvana "praznina"). Ukoliko je koncentracija hranjivih soli velika u uvjetima miješanja mora tada će prevladavati r vrste i sferične stanice. Kako se troše hranjive soli, a more stratificira, tada se događa zamjena tih oblika s k vrstama, karakteriziranih debljim stanicama (Margalef 1978). Ovaj model zamjene životnih oblika, odnosno njihove sukcesije dodatno je unaprijeđen te su uzeti u obzir i ostali ekološki čimbenici i osobine organizama. Sukcesija fitoplanktona u ovom modelu prati promjene u dostupnosti hranjivih tvari, turbulenciji, svjetlu i ekološkim strategijama. U ranoj fazi sukcesije, kada je turbulencija

vode visoka i kada su visoke koncentracije anorganskog NO_3^- , dominiraju dijatomeje zbog svoje brze stope rasta, velike veličine stanica i sposobnosti skladištenja NO_3^- . Ove *r* vrste podržavaju novu produkciju, učinkoviti prijenos energije kroz trofičke razine i imaju način kretanja potonućem. Kako stratifikacija jača, prilikom čega se omjer hranjivih soli pomiče prema većem omjeru N:P te uz veću prisutnost reduciranih oblika poput NH_4^+ , počinju dominirati dinoflagelati i drugi miksotrofni flagelati. Njihova im sporija stopa rasta, sposobnost plivanja, preferencija za NH_4^+ i korištenje organskih hranjivih tvari omogućuju preživljavanje u uvjetima niže turbulencije i slabijeg osvjetljenja. Neke od ovih vrsta, posebice one koje formiraju štetna cvjetanja algi (HAB), mogu proizvoditi toksine ili reaktivne vrste kisika (ROS) kada su hranjive tvari izvan ravnoteže. U kasnijim fazama, kada dominira recikliranje hranjivih tvari i turbulencija je niska, pikoplankton i cijanobakterije preuzimaju dominaciju. Ove male, *k* selekcionirane stanice oslanjaju se na regeneriranu produkciju, uspijevaju u toplim, stabilnim vodama i ključni su sudionici mikrobnih mreža hranjenja (Glibert 2016).

2.3. *Sjeverni Jadran*

Sjeverni Jadran, područje ovog istraživanja, najsjeverniji je dio Mediterana. On je po svim karakteristikama poluzatvoreno plitko more gdje dubine ne prelaze 60 m. Sjeverni Jadran je i područje s drugim najvećim unosom slatke vode u Sredozemlju, rijekom Po (Ivančić i Degobbi 1987; Giani, Djakovac, i sur. 2012; Giani i sur. 2023). Za područje je karakteristično ciklonalno strujanje (u smjeru kazaljke sata) koje prevladava tijekom većine godine iako se pod utjecajem meteoroloških uvjeta često javlja i anticiklonalno strujanje, zbog čega je ovo područje posebno zanimljivo. Ciklonalno strujanje prevladava u hladnijem dijelu godine, kada istočnojadranska struja donosi u Jadran oligotrofnu vodu višeg saliniteta iz istočnog Sredozemlja. Ova vodena masa rijetko stiže do samog sjevernog Jadrana, osim u određenim situacijama tijekom jeseni i zime. Površinske struje u sjevernom Jadranu sastoje se od vodenih masa koje su pod snažnim utjecajem slatke vode te atmosferskih uvjeta poput tlaka i vjetera. Tijekom ljeta dolazi do stratifikacije vodenog stupca i tada je moguća uspostava anticiklonalnih strujanja. U tim situacijama pulsevi slatke vode rijeke Po mogu stvoriti “jezik” koji putuje površinskim slojem sve do istočne obale Jadrana (Artegiani i sur. 1997; Supić, Orlić, i Degobbi 2000; Zavatarelli i sur. 1998). Ovakvi cirkulacijski obrasci uzrokuju formiranje zasebne vodene mase s visokim vremenom zadržavanja vode i tvari koji su pod utjecajem slatke vode (Russo i sur. 2005; Hopkins i sur. 1999). Zimi je drugačija situacija jer se tada događa miješanje cijelog vodenog

stupca i formiranja hladne i guste vode koja odlazi u smjeru južnog Jadrana (Bergamasco, Oguz, i Malanotte-Rizzoli 1999; Vilibić 2003). Za sjeverni Jadran karakterističan je sjeveroistočni vjetar bura koji, pogotovo zimi, može izmiješati cijeli vodeni stupac što ima velike posljedice na cirkulaciju, fizikalno-kemijske uvjete kao i na žive organizme (Boldrin i sur. 2009; Orlić, Kuzmić, i Pasarić 1994). Osim bure, koja puše u naletima i više je karakteristična za sjeverniji dio Jadrana, u ovom području je karakterističan i jugoistočni vjetar jugo koji puše kroz cijeli jadranski bazen i gura vodu prema sjeveru čime osnažuje ciklonalno strujanje (Orlić, Kuzmić, i Pasarić 1994).

Zbog svega toga, sjeverni Jadran područje je snažnih gradijenata ekoloških čimbenika poput saliniteta i koncentracije hranjivih soli, te njihovih omjera koji uvjetuju limitacije za biološku produkciju (Degobbi i sur. 2000; Lipizer i sur. 2014; Ivančić i sur. 2012). Za sjeverni Jadran karakteristične su dugoročne promjene u temperaturi, salinitetu i količini otopljenih hranjivih soli. Osim porasta temperature, zadnjih desetljeća događa se i trend porasta saliniteta (Mihanović i sur. 2021; Vilibić, Šepić, i Proust 2013) te trend oligotrofikacije, odnosno smanjenog donosa hranjivih soli (Degobbi i sur. 2000; Djakovac i sur. 2012; Mozetič i sur. 2010). Unatoč tomu, područje je i dalje eutrofno u usporedbi s ostatkom Jadrana i Sredozemlja, a karakteristična je limitacija fosforom (Ivančić i sur. 2016). Zbog toga je sjeverni Jadran visoko produktivan ekosustav gdje primarna produkcija održava bogatu hranidbenu mrežu kao i gustu populaciju ribe. Time je dodatno naglašena važnost proučavanja primarne produkcije u ovome području (Cibic i sur. 2022; Mozetič i sur. 2012).

2.4. *Fitoplankton u sjevernom Jadranu*

U sjevernom Jadranu mikrofitoplankton je glavni primarni proizvođač organske tvari. Dijatomeje najviše doprinose ukupnoj zajednici u smislu brojnosti, kao i u smislu raznolikosti, a bitne su i druge skupine poput dinoflagelata i kokolitoforida (Fuks i sur. 2012; Marić i sur. 2012; Viličić i sur. 2009). Sukcesije zajednica u ovome području pokazuju jasnu sezonalnost pa tako dijatomeje prevladavaju u jesen, kada se redovito događa cvjetanje mora koje traje nekoliko mjeseci. S druge strane, i u proljeće su moguća cvjetanja mora, ali ona tada budu više sporadična. Rana proljetna cvjetanja mora događaju se zbog miješanja mora koja donose hranjive soli iz pridnenih slojeva, regenerirane nakon jesenskog cvjetanja i putem rijeka (Marić i sur. 2012; Mozetič i sur. 2010). Tada, pogotovo u zapadnom dijelu sjevernog Jadrana dijatomeja *Skeletonema marinoi* postiže velike brojnosti (Aubry i sur. 2006; Aubry i Acri 2004;

Marić i sur. 2012) budući da je ova vrsta prilagođena hladnijim uvjetima (Marić Pfannkuchen i sur. 2018). Dalje tijekom proljeća moguće su sporadična cvjetanja izazvana dijatomejama, a u tome periodu prevladavaju i nanofitoplanktonske skupine i dinoflagelati koji su bolje prilagođeni oligotrofnim uvjetima (Viličić i sur. 2009; Aubry i Acri 2004; Aubry i sur. 2006). Tijekom proljeća događa se i stratifikacija mora te posljedična limitacija fosforom zbog čega prevladavaju manje vrste. Dodatna prilagodba na te uvjete jest i ekspresija enzima alkalne fosfataze koja omogućuje iskorištavanje fosfora iz organskih izvora (Ivančić i sur. 2012, 2016). Tijekom ostatka proljeća, kao i tijekom ljeta moguće su povremena cvjetanja mora zbog riječnog unosa hranjivih soli. Tada se događaju cvjetanja dijatomeja karakterizirana manjim brojem vrsta (Aubry i sur. 2022) i velikim stanicama (Cerino i sur. 2019). Tijekom jeseni događa se intenzivnije cvjetanje mora u uvjetima miješanja mora i jakog unosa hranjivih soli rijekama. Tada prevladavaju dijatomeje poput *Pseudo-nitzschia* spp., *Chaetoceros* spp., *Lioloma pacificum*, *Asterionellopsis glacialis* i brojne ostale vrste. Općenito, može se reći kako je jesen razdoblje najveće brojnosti i raznolikosti dijatomeja. Kasnije tijekom jeseni i zime počinju prevladavati kokolitoforid *Gephyrocapsa (Emiliana) huxleyi* i bentičke penatne dijatomeje koje budu uzdignute s morskog dna uslijed miješanja vodenog stupca (Godrijan i sur. 2013; Aubry i sur. 2022; Marić i sur. 2012; Viličić i sur. 2009; Neri i sur. 2022; Cerino i sur. 2019). Ovakva situacija nije stalna pa dolazi i do dugoročnih promjena zbog promjena u riječnim režimima i oligotrofikacije pa tako određena cvjetanja mora budu kasnije tijekom sezone, izostanu ili postaju sporadična (Marić i sur. 2012; Skejić i sur. 2024; Vascotto, Mozetič, i Francé 2021). Budući da je fitoplankton u ovoj regiji uvelike uvjetovan slatkovodnim utjecajem, u razdobljima smanjenog utjecaja slatke vode i manje dostupnosti hranjivih tvari može se očekivati više sporadična zajednica. Zbog toga je potrebno pridavati veću pažnju predvidljivosti fitoplanktonske zajednice kako bi se moglo eventualno predvidjeti njen utjecaj na ostatak ekosustava koji može biti pozitivan ili negativan.

2.5. Sluzave nakupine

Vrlo intrigantan fenomen u sjevernom Jadranu, a koji je povezan s aktivnošću fitoplanktona jest pojava velikih sluzavih nakupina organske tvari (sluzavih makroagregata). Ove nakupine mogu biti velike i do nekoliko metara, a mogu graditi površinske i podpovršinske slojeve duge i nekoliko kilometara. Podpovršinski sloj ovih nakupina naziva se još i lažnim dnom, budući da uistinu podsjeća na neprekinuto morsko dno. U prošlosti, ovaj fenomen velikih sluzavih

nakupina nazivao se i “mare sporco”, odnosno prljavo more. Rani zapisi o ovom fenomenu bili su 1729 (Umani, Ghirardelli, i Specchi 1989) i 1872 u Tršćanskom zaljevu (Syrski 1872), a pojava je redovito opažana tijekom 19. i ranog 20. stoljeća (Umani, Ghirardelli, i Specchi 1989). Detaljniji opisi i samo razumijevanje fenomena počelo je s krajem 20. stoljeća kada su te pojave bile češće, primjerice tijekom 1983., 1988., 1989. (Stachowitsch, Fanuko, i Richter 1990; Degobbis, Malej, i Umani 1999), 1991. i 1997. godine (Najdek i sur. 2002; Degobbis, Malej, i Umani 1999). U ovom stoljeću fenomen se događao 2000., 2002. (Cornello, Boscolo, i Giovanardi 2005) i 2004 (De Lazzari i sur. 2008). Osim sjevernog Jadrana, ovaj fenomen događa se i u Tirenskom moru (Rinaldi i sur. 1995; Giani, Sist, i sur. 2012), Mramornom moru (Yardımcı, Esi, i Ertürk 2024; Savun-hekimoğlu i Gazioğlu 2021) i oko Novog Zelanda (MacKenzie i sur. 2002).

Zanimljivo je i to da se nakon 2004. godine ovaj fenomen nije dogodio sve do ljeta 2024 kada je ponovo primjećen na velikim skalama u čitavom sjevernom Jadranu (Vilibić i sur. 2025). Fitoplankton i organska tvar koju luči često stvaraju različite agregate koji mogu biti različite veličine, izgleda i konzistencije. U širem smislu, agregati mogu biti sitni, poput morskog snijega ili nešto veći (makroflokovi i niti). Ovi manji agregati češća su pojava od onih većih. Velike sluzave nakupine mogu također biti različitih oblika pa se tako razlikuju oblaci, koji budu ispod površine, odnosno lebde u vodenom stupcu, a oni mogu formirati i lažno dno. Na površini mogu nastati kremasti i želatinozni površinski slojevi koji se razlikuju po boji i konzistenciji. Kremasti slojevi često su svijetle boje i dolaze tik ispod površine dok želatinozni slojevi plutaju površinom i budu žute i smeđe boje (Stachowitsch, Fanuko, i Richter 1990; Precali i sur. 2005) što se vidi na **Slici 2**.



Slika 2. Površinski slojevi sluzavih nakupina u Rovinju (07.08.2024). Na fotografiji b vidljiv je želatinozni sloj koji pluta površinom mora dok su na ostalim fotografijama (a, c, d) vidljivi kremasti površinski slojevi koji budu tik ispod površine vode.

Sluz koja gradi ove nakupine je složena mješavina organskih spojeva poput ugljikohidrata, proteina, lipida, amida, organosilikata i ostalih spojeva. Ti spojevi budu polimerizirani u složeni matriks nalik huminu (Mecozzi i sur. 2005; Kovac i sur. 2004). Anorganski spojevi poput karbonata i silikata također imaju značajan udio (Mecozzi i sur. 2005). Glavni izvor organskih prekursora sluzi su fitoplanktonske stanice koje luče organske tvari u more, bilo aktivno zbog raznih mogućih bioloških uloga te sluzi, bilo pasivno tijekom predacije i infekcija. Smatra se da je mikrofitoplankton glavni izvor organske tvari, ali je teško reći koje su točno vrste ili skupine ključne u ovome fenomenu. Vrste dijatomeja poput *Thalassionema nitzschioides*, *Cylindrotheca closterium*, *Cerataulina pelagica* ili *Pseudo-nitzschia delicatissima* g često su nađene u asocijaciji s nakupinama (Najdek i sur. 2002; Totti i sur. 2005; Revelante i Gilmartin 1991). Među njima, posebnu pozornost privlači vrsta *C. closterium*, za koju se smatra da ima

ulogu u oslobađanju sluzi, kao i u održavanju već postojećih agregata (Najdek i sur. 2002, 2005). Također i dinoflagelati poput *Gonyaulax fragilis* (Pistocchi i sur. 2005; Pompei i sur. 2003) ili *Ceratium furca* primijećeni su u većim brojevima u agregatima (Totti i sur. 2005). *G. fragilis* može proizvoditi sluz u velikim količinama i sa sličnim svojstvima kao i u agregatima što je eksperimentalno dokazano (Pistocchi i sur. 2005; Pompei i sur. 2003).

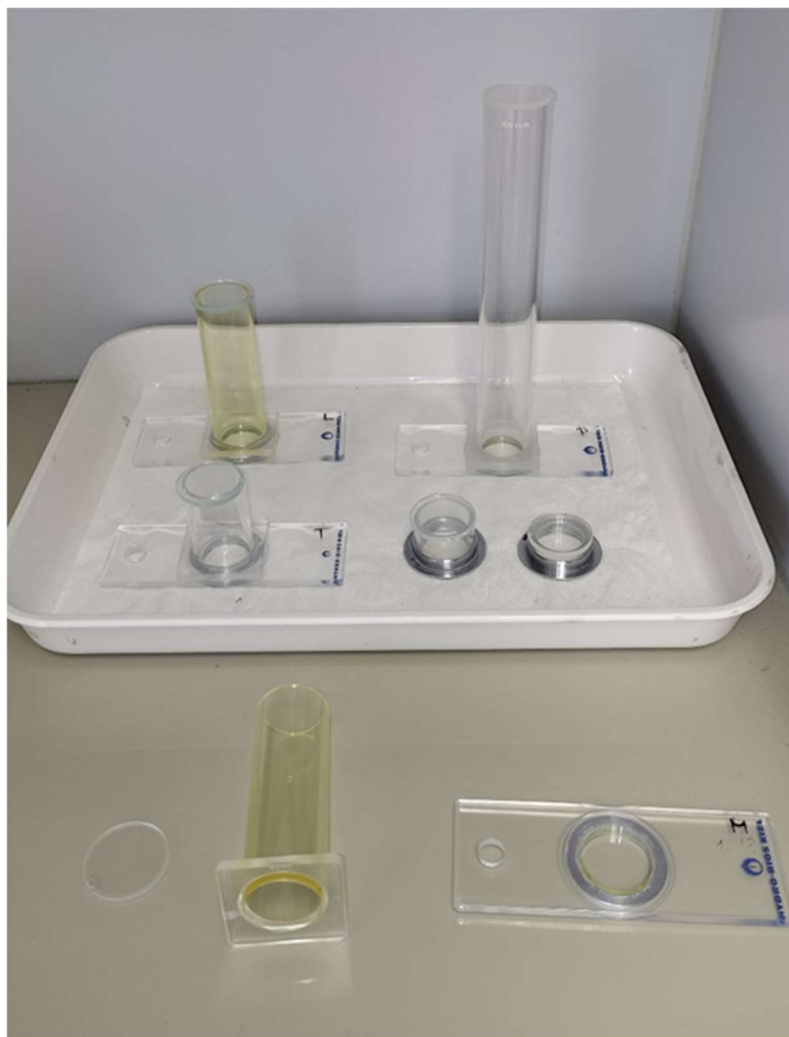
Kako bi uopće došlo do razvoja ovog fenomena potrebno je nakupljanje organske tvari u velikim koncentracijama u morskoj vodi. Ova organska tvar naziva se transparentni egzopolimer (TEP, od eng. *transparent exopolymer*). Poznato je da brojne fitoplanktonske vrste mogu proizvesti TEP i sluz (Passow 2002; Fukao, Kimoto, i Kotani 2010). Tijekom ljetnih mjeseci zbog visoke temperature i utjecaja slatke vode u uvjetima mirnog vremena u sjevernom Jadranu dolazi do stratifikacije vodenog stupca i smanjenog miješanja vode. U takvim uvjetima dolazi do nakupljanja organske tvari (Russo i sur. 2005). Osim toga, u tim uvjetima dolazi i do limitacije fosforom zbog njegove potrošnje u površinskim slojevima (Ivančić i sur. 2012) koja dodatno potiče proizvodnju sluzi u fitoplanktonskih stanica (Urbani i sur. 2005). Ostali čimbenici poput smanjenog predacijskog pritiska (eng. *grazing*), bakterijska aktivnost te viralne infekcije također pospješuju oslobađanje organske tvari u vodu. Ono što još nije poznato jest kompletan mehanizam odnosno sam proces polimerizacije tih organskih tvari u veliki sluzavi matriks (Degobbi, Malej, i Umani 1999). U ovome radu bit će analizirani uzorci dobiveni svakodnevnim uzorkovanjem tijekom 2024. godine kako bi se utvrdila uloga pojedinih grupa fitoplanktonskih organizama u ovome fenomenu te njihove prilagodbe na tada prisutne uvjete u okolišu.

2.6. Metode praćenja zajednice

2.6.1. Svjetlosna mikroskopija

Svjetlosna mikroskopija je tradicionalan način praćenja fitoplanktonske zajednice u sjevernom Jadranu, gdje postoje podaci dugoročni podaci o raznolikosti i brojnosti ovih organizama (Marić i sur. 2012; Revelante i Gilmartin 1976; Aubry i Acri 2004; Aubry i sur. 2006; Godrić i sur. 2013; Neri i sur. 2022; Totti i sur. 2019; Viličić i sur. 2009; Vascotto, Mozetič, i Francé 2021). Jedna od najstarijih tehnika mjerenja brojnosti fitoplanktonskih organizama sastoji se od brojanja stanica sedimentiranih u određenom volumenu uzorka pomoću invertnog mikroskopa. Organizmi moraju biti fiksirani Lugolovom otopinom ili Formaldehidom prilikom čega pokretni organizmi postanu nepokretni i stoga tonu. Sama fiksacija sprječava raspadanje organizama zbog čega uzorak može biti analiziran kasnije. Ovakvu metodu određivanja

brojnosti fitoplanktona prvi je upotrijebio Utermöhl 1931., a usavršio 1958. godine pa ona nosi njegovo ime (Utermöhl 1958; Utermöhl 1931). U samom procesu koristi se duga plastična ili staklena cilindrična komora koja na donjem dijelu ima bazu koja služi da se priljubi za donju komoricu sustava. Donja komorica sustava je ploča koja sadrži stakalce debljine do 0.2 mm, a promjera jednakog promjeru cilindra. Cijeli proces počinje homogenizacijom prethodno fiksiranog uzorka u formalinu ili Lugolovoj otopini. Homogenizacija podrazumijeva lagano miješanje boce s uzorkom kako bi se organizmi ravnomjerno rasporedili u njoj. Nakon toga uzorak se odlijeva u cilindar postavljen na donju komoricu sustava, tako da dio sa stakalcem zatvara sam cilindar s donje strane. Odliveći poduzorak pokriva se pokrovnim stakalcem kako bi podtlak držao cijeli sustav na okupu. Volumeni koji u konačnici budu analizirani mogu biti različiti: 2 mL, 5 mL, 10 mL, 25 mL, 50 mL i 100 mL. Volumen se odabire na temelju očekivane gustoće stanica, pa tako za gušće uzorke se koriste manji volumeni i obrnuto. Dijelovi sustava i sustavi različitih volumena prikazani su na **Slici 3**. Vrijeme potrebno za sedimentaciju utvrđuje se na temelju volumena komorice ako se koristi Lugolova otopina, tada je za 50 mL potrebno 24 sata kako bi uzorak sedimentirao. Za sedimentaciju uzoraka fiksiranih formalinom potrebno je 40 sati neovisno o volumenu (Edler i Elbrächter 2010).



Slika 3. Sustavi za sedimentaciju uzorka po Utermöhlovoj metodi različitih volumena. Najmanji volumeni budu sedimentirani u „Zeiss komoricama“ sa navojem. U prvom planu su prikazane s lijeva na desno: pokrovno staklo, cilindrična komora i donja komorica.

Nakon sedimentacije cilindrična komorica se uklanja klizanjem u stranu prilikom čega se istovremeno zamjenjuje pokrovnim stakalcem. Na stolić invertnog mikroskopa se postavlja samo donja komorica gdje se na donjem stakalcu nalaze sedimentirani organizmi. Ovi organizmi prate Poissonovu distribuciju odnosno ravnomjerno su raspoređeni na stakalcu. Zbog toga, za razliku od drugih sličnih metoda, nije potrebno brojati sve stanice u komorici (što može biti izazovno u slučaju velikih brojnosti) već je moguće analizirati transekte u slučaju kada je brojnost stanica velika. Prilikom toga važno je znati na kojemu je povećanju vršena analiza, odnosno potrebno je poznavati analiziranu površinu. Množenjem broja stanica viđenih u transektu s količnikom analizirane površine i ukupne površine komorice dobiva se broj koji se podijeli sa volumenom komorice. Nakon toga rezultat se množi s tisuću i konačni rezultat tad bude izražen kao broj stanica po litri (stanica L^{-1}). Uobičajena je praksa brojati veće organizme

na malom povećanju, prilikom čega se analizira cijela komorica, a zatim se manji organizmi analiziraju metodom transekta koja bude prilagođena brojnosti organizama (Edler i Elbrächter 2010; Utermöhl 1958). Prilikom identifikacije organizama poželjno je koristiti invertni mikroskop s faznim kontrastom i diferencijalnim interferencijskim kontrastom (DIC). Mjerenjem morfologije stanica moguće je i procijeniti veličinu i biovolumen organizama, varijable bitne za kasnije ekološke analize. Glavni nedostatak ove metode je relativno mali volumen koji bude analiziran prilikom čega rijetke i malobrojne vrste mogu biti izostavljene. Također, upotreba formalina ili Lugolove otopine u pripremi uzorka mogu dovesti do promjene u morfologiji organizama ili čak i do raspada stanica zbog čega je otežana identifikacija.

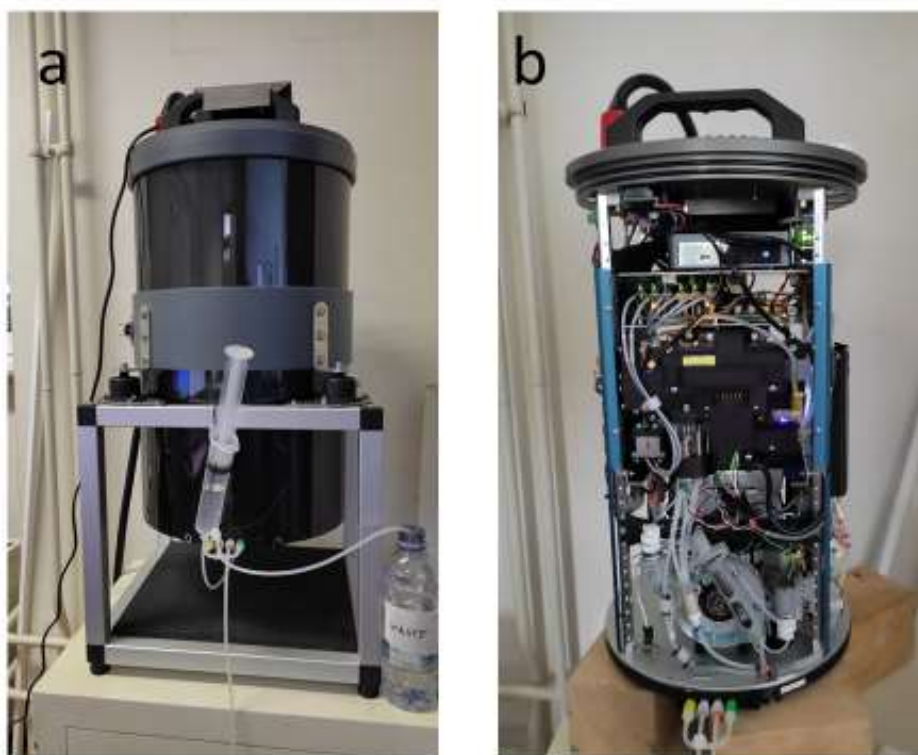
Prethodno navedene tehnike brojanja prikladne su za određivanje brojnosti rjeđih i velikih stanica. Međutim, za brojanje vrlo brojnih i malenih organizama od kojih većina njih pripada u prokariote potrebne su drugačije metode poput epifluorescentne mikroskopije. Pikocijanobakterije su najmanji i najbrojniji fotosintetski organizmi u moru od kojih su najbrojniji i najpoznatiji predstavnici *Synechococcus* i *Prochlorococcus*. Zbog njihove brojnosti volumeni potrebni za reprezentativnu analizu mogu biti manji od onih koji se koriste, primjerice, korištenjem Utermöhl metode. Stoga će u ovom slučaju organizmi poput dijatomeja biti vrlo rijetki organizmi pa tijekom filtracije neće začepiti filter ili smetati tijekom brojanja. Za filtraciju se koristi tamni filter na kojem zaostaju organizmi koji se potom promatraju na epifluorescentnom mikroskopu (Hobbie, Daley, i Jasper 1977; Daley i Hobbie 1975). Autofluorescencija pigmenata omogućava raspoznavanje različitih skupina pikoplanktonskih organizama zbog različitih vrsta pigmenata koje različite skupine sadrže. Neke cijanobakterije sadrže pigment fikoeritirin zbog čega fluoresciraju u žutom dijelu spektra. Ovu skupinu čine cijanobakterije iz roda *Synechococcus* i razlikuju se od onih koje sadrže fikocijanin, odnosno onih koje fluoresciraju u crvenom dijelu spektra (Callieri i Stockner 2002; Heather, Frances, i Kelley 1994). Epifluorescentna mikroskopija koristi se i za brojanje nanoplanktona. Na tamnom filteru ostaju organizmi koji mogu biti obojeni primulinom kako bi se odredila brojnost heterotrofnih nanoflagelata dok autofluorescencija klorofila omogućuje identifikaciju autotrofnih organizama (Caron David 1983). Ove dvije veličinske frakcije fitoplanktona mogu biti analizirane i protočnom citometrijom, koja također omogućuje razlikovanje grupa organizama na temelju autofluorescencije njihovih pigmenata o čemu će detaljnije biti raspravljano dalje u radu. Treba na kraju napomenuti kako su tehnike određivanja brojnosti i raznolikosti fitoplanktona svjetlosnom mikroskopijom dugotrajne i naporne pa zbog toga postoji ograničenje broja uzoraka koji mogu biti obrađeni u razumnom vremenskom periodu.

Stoga su razvijene brže metode poput protočne citometrije koje mogu obraditi velik broj uzoraka u kratkom vremenu i kod kojih postoji mogućnost automatizacije analize. Isto tako, kod svjetlosne mikroskopije je nemoguće ponovo provjeriti rezultate brojanja budući da uzorak nakon analize ne bude sačuvan te je analiza podložna subjektivnosti osobe koja ju provodi.

2.6.2. Protočna citometrija sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje)

Protočna citometrija je automatiziranu metodu analize čestica suspendiranih u vodi. Osnovni princip ove metode jest propuštanje uzorka kroz tanku prozirnu kapilaru prilikom čega suspendirane čestice prolaze kroz snop laserske svjetlosti. Prilikom prolaska čestice kroz snop svjetlosti događaju se optički fenomeni raspršenja svjetlosti i fluorescencija pigmenata ukoliko su oni prisutni. Pigmenti mogu biti umjetno dodani ili biti prirodno prisutni, poput fotosintetskih pigmenata u stanicama. U drugom slučaju radi se o autofluorescenciji, budući da fotosintetski pigmenti posjeduju sposobnost fluoresciranja. Tekućina uzorka obično se puma uz pomoć kalibrirane peristaltičke pumpe (sam dizajn peristaltičke pumpe sprječava kontakt analiziranog fluida s ostalim komponentama pumpe, čime se sprječava moguća kontaminacija i oštećenje stanica). Osim uzorka, u kapilaru bude ubrizgan i mlaz čiste tekućine (eng. *sheath fluid*) koji prolazi između stijenki kapilare i uzorka, čime se prisiljava uzorak da putuje sredinom kapilare. To omogućuje i nesmetani laminarni protok tekućine te hidrodinamičko fokusiranje suspendiranih čestica koje zbog toga prolaze kroz laserski snop jedna za drugom. Sustav leća, prizmi i polupropusnih zrcala usmjeravaju raspršenu i fluoresciranu svjetlost prema detektorima (fotomultiplikatorske cijevi). Polupropusna zrcala specifično propuštaju određene valne duljine što omogućuje identifikaciju specifičnih pigmenata (Davey i Kell 1996). Konačno, podaci o intenzitetu prednjeg i bočnog raspršenja svjetlosti te fluorescencijama pigmenata budu pohranjeni u digitalnom obliku. Prilikom pohrane, ili tijekom same analize obično se postavlja granična najniža vrijednost željene varijable (raspršenje ili fluorescencija) kako bi se izbjeglo bilježenje pozadinskog i elektroničkog šuma te kako bi se bilježile čestice od interesa. Ova funkcija se na engleskom naziva *trigger* (okidač). Tako pohranjeni podaci mogu se prikazivati u nizu dvodimenzionalnih prikaza (citograma) gdje osi prikazuju intenzitete raspršenja i fluorescencije, a točke pojedinačne observacije čestica (eng. *event*). Na tim prikazima točke obično budu grupirane s obzirom na njihova optička svojstva pa je zbog toga moguće razlikovati različite skupine suspendiranih čestica. Nakon identifikacije tih grupa (eng. *gating*) moguće je odrediti njihovu koncentraciju u uzorku (Davey i Kell 1996; Rowley 2012). Zbog toga je protočna citometrija metoda koja istovremeno omogućuje razlikovanje različitih tipova čestica, kao i njihovu brojnost u uzorku u relativno kratkom vremenu. Samim

time, protočna citometrija je postala često korištena metoda za analizu fitoplanktonskih organizama. U tom slučaju suspendirane čestice su zapravo stanice tih organizama kod kojih je ključno to što sadrže klorofil i ostale fotosintetske pigmente koji imaju sposobnost autofluorescencije. Zbog autofluorescencije pigmenata moguće je razlikovati fotosintetske organizme od onih heterotrofnih te neživih čestica ukoliko se kao *trigger* odabere fluorescencija klorofila. Osim toga, različit sastav pigmenata kod različitih fitoplanktonskih grupa odražava se kao postojanje različitih grupa u citogramima (Trask, van den Engh, i Elgershuizen 1982). Poznato je da različite taksonomske skupine fitoplanktonskih organizama imaju različit sastav pigmenata. Svi fitoplanktonski organizmi sadrže klorofil *a*. Klorofil *b* karakterističan je za zelenu liniju eukariota dok je klorofil *c* karakterističan za crvenu liniju eukariota (Seppälä 2022; Falkowski i sur. 2004). Klorofil *a* fluorescira u crvenom dijelu spektra što omogućuje njegovu laganu detekciju. Osim njega, bitni su i pridodani pigmenti koji su obično iz skupine karotenoida. Pikocijanobakterije poput onih iz roda *Synechococcus* sadrže fikoeritrin kao pridodani pigment koji im daje karakterističnu narančastu fluorescenciju (Waterbury i sur. 1979; Olson, Vulot, i Chisholm 1985). S druge strane, cijanobakterije iz roda *Prochlorococcus* ne pokazuju narančastu fluorescenciju, dok je njihova crvena fluorescencija vrlo slabog intenziteta. Zbog toga su one otkrivene tek kada je protočna citometrija postala dovoljno razvijena metoda (Chisholm i sur. 1988). U eukariota crvene alge, kriptofiti te neki dinoflagelati i cilijati sadrže fikobiline kao pridodane pigmente koji im daju karakterističnu narančastu fluorescenciju (Seppälä 2022). Stoga je ove navedene grupe relativno lako razlikovati pomoću protočne citometrije. Dijatomeje i dinoflagelati, česte grupe unutar mikro frakcije teže je razlikovati pomoću klasične protočne citometrije budući da je njihova fluorescencija uglavnom u crvenom dijelu spektra. Dodatni izazov za mikrofitoplankton jest i njegova veličina, kao i česta pojava kolonija koje je teško primjetiti pomoću klasične protočne citometrije koja će ih zabilježiti kao jednu točku s velikim intenzitetima raspršenja i fluorescencije.

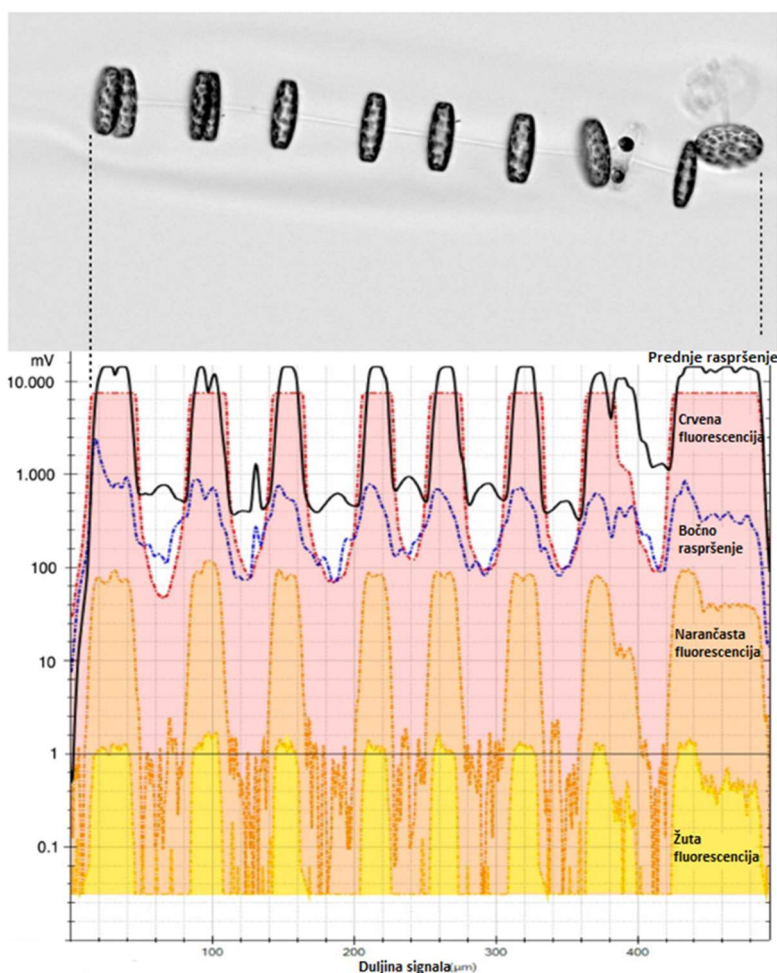


Slika 4. Protočni citometar za zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje) CytoSense (CytoBuoy b.v., Nizozemska), model CS-2021 prikazan sa zaštitnim pokrovom instrumenta (a) i bez njega, prilikom čega su vidljive unutarnje komponente (b).

Zbog toga je razvijena protočna citometrija sa zapisom pulsa (**Slika 4**) koja, u usporedbi s klasičnom protočnom citometrijom ima visoku frekvenciju bilježenja signala tijekom analize (4 MHz). To omogućuje da svaka opservacija ne bude zabilježena samo kao jedna točka u citogramu, već se za svaku stanicu dobiva njezin jedno dimenzionalni profil, odnosno zapis pulsa. Na **Slici 5**, vidljivo je kako kolonija dijatomeja prolaskom kroz lasersku zraku stvara cjelovit zapis pulsa svjetlosti nastalog prednjim raspršenjem (FWS, od eng. *forward scatter*), bočnim raspršenjem (SWS, od eng. *sideward scatter*) te u tri fluorescencijska kanala: crvenom (FIR, eng. *red fluorescence*), narančastom (FIO, eng. *orange fluorescence*) i žutom (FIY eng. *yellow fluorescence*). Ovaj jednodimenzionalan zapis daje izravan uvid u strukturu kolonije. Robusni dizajn instrumenta omogućuje analizu stanica u cijelom rasponu veličina, od pikocijanobakterija do kolonija dugih 1 mm. Također, ovaj instrument izvorno je razvijen kao *in situ* protočni citometar nazvan CytoSense (ili CytoSub, ukoliko ga se koristi za podvodno mjerenje) kojega je moguće ugraditi u sklopu oceanografskih plutača i drugih autonomnih sustava prikupljanja podataka (Dubelaar i sur. 1999; Dubelaar i Gerritzen 2000). Ova

metodologija omogućuje praćenje brzih promjena u fitoplanktonskoj zajednici, budući da instrument može autonomno vršiti analizu nekoliko puta u satu odnosno danu.

Dodatna prednost ove metodologije je u analizi dobivenih zapisa pulseva (eng. *pulse-shape*). Iz svakog detektora (SWS, FWS, FLR, FLO i FIY) nastaje odgovarajući zapis (**Slika 5**). Sami zapisi su bogat izvor informacija o morfologiji analiziranih stanica. Duljina zapisa daje uvid u duljinu stanice. Obično se uzima duljina zapisa na polovici njegove visine kako bi se spriječilo precijenjivanje duljine stanice. Iz samog oblika zapisa može se zaključiti oblik analizirane stanice. Ukoliko zapis ima zvonolik oblik, tada je riječ o sferičnoj stanici. Izduženiji zapis odgovara izduženim, štapičastim i cilindričnim stanicama. Simetrija zapisa ukazuje na simetriju same stanice, kao i na položaje unutarstaničnih organela te vanjske nastavke. Položaj plastida vidljiv je iz zapisa pulsa crvene fluorescencije (ili žute odnosno narančaste). Kolonije su vidljive kao zapisi pulsa s više maksimuma.



Slika 5. Prikaz mikrofotografije kolonije dijatomeja (gore) i njezinih odgovarajućih zapisa pulseva u različitim kanalima (fluorescencija i raspršenje) dobivenih CytoSense protočnim citometrom sa zapisom pulsa (dolje) (prilagođeno prema <https://www.cytobuoy.com/>)

Kako bi se kvantitativno izrazile te osobine zapisa pulsa, u programu CytoClus4 iz tih zapisa računaju se sljedeće varijable: duljina (duljina zapisa pulsa na polovici njegove visine), ukupan iznos signala (zbroj svih vrijednosti zapisa, površina ispod krivulje), maksimum (najveća vrijednost zapisa), prosječan iznos signala (ukupan iznos signala podijeljen s brojem točaka u zapisu), inercija (mjera raširenosti signala oko njegova centra), centar gravitacije signala (mjera koliko je zapis pulsa koncentriran oko jedne točke), faktor popunjavanja (odstupanje oblika zapisa pulsa od pravokutnika), asimetrija (mjera asimetričnosti zapisa), broj stanica (broj lokalnih maksimum signala). Sve ove varijable mogu se računati za sve snimljene zapise pulsa u svim kanalima (SWS, FWS, FLR, FLO i FIY) što daje mnogo informacija o samim stanicama (**Tablica 1**). Te su varijable izračunate za svaku observaciju, odnosno one su specifične za svaku stanicu, ali moguće je i izračunati njihovu ukupnu ili prosječnu vrijednost po uzorku. Prednje raspršenje (FWS) daje informaciju o volumenu stanice. Ukupan FWS po volumenu daje koncentraciju biovolumena po volumenu uzorka. Slično, ukupan FIR po volumenu daje koncentraciju klorofila po volumenu. Bočno raspršenje (SWS) daje informaciju o postojanju unutarnjih struktura u stanici koje raspršuju svjetlost. Omjer ukupnog SWS:FWS tako daje informaciju o specifičnoj ultrastrukturnoj složenosti stanice. FWS broj stanica daje približan broj stanica po lancu. Moguće je izračunati prosječan broj stanica u lancu koji onda daje informaciju prevladavaju li u uzorku kolonije ili pojedine stanice (Fragoso i sur. 2019). Isto tako, množenjem tog broja s ukupnom brojnošću može se dobiti približna korekcija, odnosno broj stanica po volumenu. Ukoliko se od 1 oduzme FWS faktor popunjavanja tada se dobije informacija o sferičnosti stanice. FWS asimetrija daje informaciju o asimetričnosti stanice i kolonije. Omjer ukupnog (FLO + FIY) naspram ukupnog FIR signala daje udio pridodanih pigmenta u stanici. Omjer ukupnog FIR i ukupnog FWS daje specifični udio klorofila po biovolumenu stanice (Fragoso i sur. 2019; Epinoux 2021). Izvedene varijable i njihove interpretacije navedene su u **Tablici 2**.

Tablica 1. Osnovne varijable dobivene iz zapisa pulseva protočnog citometra prilikom samog mjerenja. Varijable su izračunate za svaki kanal: FWS, SWS, FIR, FIY i FIO.

Varijabla	Što mjeri	Interpretacija
Duljina	Duljina zapisa pulsa na polovici visine	Širina signala; informacija o veličini ili složenosti stanice
Ukupan iznos signala	Površina ispod krivulje (zbroy svih vrijednosti)	Količina svjetla / fluorescencije / raspršenja
Maksimum	Najveća vrijednost signala	Vrhunac intenziteta
Prosječan iznos signala	Ukupan iznos signala podijeljen s brojem točaka	Srednji intenzitet
Inercija	Mjera raširenosti signala oko centra	Pokazatelj morfologije: zbijenost stanice
Centar gravitacije signala	Gdje je signal koncentriran	Pokazatelj morfologije: položaj organela
Faktor popunjavanja	Odstupanje oblika zapisa od pravokutnika	Pokazatelj morfologije: izdužene ili sferične stanice
Asimetrija	Mjera asimetričnosti signala	Pokazatelj kolonija ili nepravilnih stanica
Broj stanica	Broj lokalnih maksimuma signala	Procjena broja stanica u lancu

Tablica 2. Varijable izvedene iz onih u Tablici 1 i njihova biološka interpretacija prema (Fragoso i sur. 2019; Epinoux 2021)

Izvedena varijabla	Interpretacija
Ukupan FWS po volumenu	Koncentracija biovolumena po volumenu uzorka
Ukupan FIR po volumenu	Koncentracija klorofila po volumenu uzorka
Prosječan FWS / Prosječan FWS broj stanica u lancu	Biovolumen stanice
Prosječna FWS duljina	Duljina lanca
Prosječna FWS duljina / Prosječan FWS broj stanica u lancu	Duljina pojedinih stanica u lancu
Ukupan SWS: Ukupan FWS	Specifična ultrastrukturalna složenost (granulacija)
Prosječan FWS broj stanica u lancu	Prevladavaju li kolonije ili pojedine stanice
Prosječan FWS broj stanica po volumenu	Korekcija: prosječan broj stanica $\times$ ukupna brojnost
1 – Prosječan FWS faktor popunjavanja	Sferičnost stanice
Prosječna FWS asimetrija	Asimetričnost stanice ili kolonije
(Ukupan FIO + Ukupan FIY) / Ukupan FIR	Udio pridodanih pigmenata spram klorofila
Ukupan FIR / Ukupan FWS	Specifični udio klorofila po biovolumenu stanice

Dakle, osim izvornih varijabli dostupnih u programu CytoClus4, moguće je dobiti i dodatne informacije o morfologiji i fiziološkim prilagodbama stanica iz raznih kombinacija tih varijabli, te pratiti njihovu dinamiku te njihove odnose s ostalim ekološkim čimbenicima.

Kako bi se dobile brojnosti određenih organizama te njihovi specifične varijable, najprije je potrebno razlikovati određene skupine tih organizama. Kao što je ranije objašnjeno, u klasičnoj protočnoj citometriji glavni kriterij za odvajanje grupa su iznosi SWS, FWS te fluorescencija pigmenata. Na citogramima je tada lako prepoznati određene skupine. Protočna citometrija sa zapisom pulsa ima dodatnu prednost, a to su upravo brojni ostale varijable te sam oblik zapisa pulsa. Potrebno je naglasiti da unatoč tim prednostima, ova metoda i dalje ne daje pravu taksonomsku podjelu, već podjelu baziranu na optičkim svojstvima organizama koja može, ali i ne mora biti istovjetna taksonomiji. Zbog toga postoji standardan način nazivanja ovih grupa (Thyssen i sur. 2022). Cijanobakterije iz roda *Prochlorococcus* koje imaju vrlo slabu crvenu fluorescenciju i obično budu teško razlučive od pozadinskog šuma nazivaju se RedPicoProk. Cijanobakterije iz roda *Synechococcus* koje osim crvene fluorescencije pokazuju i narančastu i žutu fluorescenciju zbog postojanja pigmenta fikocijanina nazivaju se OraPicoProk. Miješana grupa eukariotskog pikofitoplanktona s jakom crvenom fluorescencijom naziva se RedPico. Nanofitoplankton veći od 2 μm s jakom crvenom fluorescencijom naziva se RedNano. Kriptofiti i ostali nanoplankton s jakom narančastom i žutom fluorescencijom, osim crvene zbog postojanja pigmenta fikoeritrina, između 2 μm i 20 μm naziva se OraNano. Stanice veće od 20 μm sa signalom sličnim kriptofitima, uglavnom miksotrofni dinoflagelati, cilijati i filamentozne cijanobakterije nazivaju se OraMicro. Mikrofitoplanktonske stanice s jakom crvenom fluorescencijom i veće 20 μm , uglavnom dijatomeje i dinoflagelati, ali i ostale grupe poput nekih haptofita, euglenofita, silikoflagelata i ostalih nazivaju se RedMicro. Konačno, kokolitoforidi s jakim SWS i manji od 20 μm nazivaju se HighSWSNano (Thyssen i sur. 2022). Konačno, osim funkcije protočne citometrije sa zapisom pulsa, CytoSense instrumenti posjeduju i kameru s lećom za dobivanje mikrofotografija. Ove mikrofotografije uvelike pomažu kako u određivanju funkcionalnih grupa tako i u taksonomskoj identifikaciji organizama najzastupljenijih u tim grupama. Potrebno je naglasiti kako ovom metodom nije moguće dobit podatke o apsolutnoj brojnosti organizama budući da kamera ne stigne uslikati svaku analiziranu stanicu. Unatoč tomu, na kolekcijama mikrofotografija moguće je utvrditi koja skupina ili vrsta najviše doprinosi sastavu određene funkcionalne grupe, a ideja u ovome

radu je semikvantitativno okarakterizirati svaki uzorak na temelju udjela određenih skupina organizama u kolekcijama mikrofotografija.

2.7. Klastering i analiza podataka

Podaci o brojnosti i raznolikosti fitoplanktona, kao i ostali podaci poput okolišnih čimbenika (temperatura, salinitet, koncentracije hranjivih soli i ostali) ili svojstava stanica mogu biti analizirani na razne načine. Brojnosti fitoplanktona najčešće su prikazane u vremenu i prostoru u obliku različitih vremenskih nizova, stupčastih dijagrama i sl.. Vrlo često podaci budu grupirani ovisno o hipotezi koja se želi ispitati, pa primjerice podaci mogu biti grupirani prema sezonama, lokacijama ili svojstvima okoliša. Zbog velikog broja različitih svojti koje budu prisutne u skupu podataka, kao i zbog same veličine toga skupa, ponekad je prije ostalih analiza potrebno pronaći obrasce u samim podacima. Jedan od načina pronalaženja obrazaca jest klasteriranje podataka. Klasteriranje je podjela podataka u klase s obzirom na njihovu sličnost. Na primjeru fitoplanktonskih podataka klasteriranje omogućuje klasifikaciju uzoraka s obzirom na raznolikost i brojnost svojti u njima. Sami klasteri mogu biti vizualizirani u vremenu i prostoru čime je moguće dobiti uvid u promjenu i strukturu zajednice (Vascotto, Mozetič, i Francé 2021; Vascotto i sur. 2024; Anneville i sur. 2002; Vlašiček i sur. 2025). U samim klasterima moguće je pronaći karakteristične vrste, odnosno one koje se najčešće pojavljuju u najvećem udjelu unutar određene grupe uzoraka (Dufrene i Legendre 1997). Isto tako ovakve klastere je moguće proučavati u kontekstu okolišnih čimbenika i koristiti tehnike ordinacije poput analize osnovnih komponenti (PCA, od eng. *Principal Component Analysis*), kanoničke analize korespondencije (CCA, od eng. *Canonical Correspondence Analysis*) i ostalih kako bi se proučio utjecaj okolišnih čimbenika na zajednicu (Vlašiček i sur. 2025; Legendre i Legendre 2014).

Osim brojnosti i raznolikosti zajednice, moguće je pratiti i ostale osobine samih organizama, poput njihovih morfoloških, fizioloških i ostalih svojstava (eng. *trait based analysis*). Ovakav pristup daje brojna dodatna saznanja o prilagodbama organizama na uvjete u okolišu (Fragoso i sur. 2019; Vascotto, Mozetič, i Francé 2024). Isto tako, budući da je izmjena zajednica s drugačijim morfo-fiziološkim svojstvima jedan od mehanizma sukcesije fitoplanktona (Glibert 2016; Naselli-Flores, Zohary, i Padisák 2021; Kruk, Devercelli, i Huszar 2021), njihovo poznavanje od ključne je važnosti za razumijevanje fitoplanktona.

3. Ciljevi i hipoteze

Ciljevi:

1. Analizirati prostorno vremenske odnose fitoplanktonskih skupina u složenom ekosustavu sjevernog Jadrana
2. Usporediti metode analize fitoplanktona: protočnu citometriju sa zapisom oblika pulsa (uključujući i mikrofotografiranje) i svjetlosnu mikroskopiju
3. Proučiti prostorno vremensku dinamiku optičkih svojstava fitoplanktonske zajednice u okolišu
4. Optimizirati frekvenciju uzorkovanja, prepoznati i predložiti nove čimbenike koji ukazuju na promjene u ekosustavu, te definirati mjerljive indikatore promjena ekosustava

Hipoteze:

1. Prostorno vremenski odnosi fitoplanktonskih skupina pokazuju stabilne obrasce
2. Brojnost i raznolikost dobiveni protočnom citometrijom sa zapisom oblika pulsa otkrivaju slične trendove u brojnosti i raznolikosti kao i svjetlosna mikroskopija
3. Optička svojstva fitoplanktonskih stanica mijenjaju se u prostoru i vremenu ovisno o taksonomskoj pripadnosti stanica
4. Uzorkovanje visoke učestalosti može dati uvid u brze promjene u fitoplanktonskoj zajednici što daje nadopunu tradicionalnim metodama uzorkovanja i analize

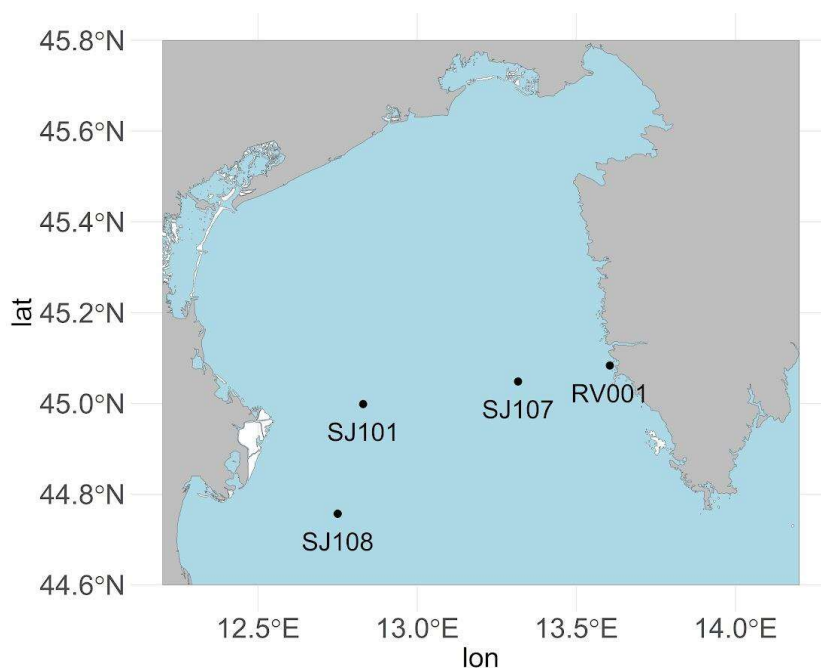
4. MATERIJALI I METODE

4.1. Praćenje dugoročnih promjena u zajednici fitoplanktona

4.1.1. Uzorkovanje

Uzorci za dugoročnu analizu fitoplanktona i okolišnih čimbenika uzimani su u razdoblju od 2000. godine do kraja 2024. godine. Uzorkovanje je vršeno na oceanografskim brodovima (Vila Velebita, Burin i Triton), korištenjem Niskinovih crpaca. Iz crpaca su uzeti poduzorci za određivanje koncentracija hranjivih soli (nitrati: NO_3^- , nitriti: NO_2^- amonijak: NH_4^+ , ortofosfati: PO_4^{3-} i ortosilikati: SiO_4^{4-}) te za analizu fitoplanktona (200 ml prefiltrirano kroz mrežu s otvorima oka od 300 μm).

Mjesto uzorkovanja su postaje na longitudinalnom transektu od Rovinja prema ušću rijeke Po (**Slika 6**): RV001 (lat = 45° 5' N, lon = 13° 36' E), SJ107 (lat = 45° 3' N, lon = 13° 19' E), SJ101 (lat = 44° 60' N, lon = 12° 50' E), SJ108 (lat = 44° 45' N, lon = 12° 45' E). Na svakoj postaji uzorci su uzimani s različitih dubina: 0 m, 5 m, 10 m, 20m i 2 m iznad dna.



Slika 6. Karta istraživanog područja s označenim postajama Po transektu na kojima su uzimani uzorci za analizu dugoročnih promjena u zajednici fitoplanktona.

4.1.2. Okolišni čimbenici

Salinitet i temperatura mjereni su CTD sandom (SBE 25 Sealogger, Sea-Bird Electronics, Inc., Bellevue, Washington, USA). Koncentracije otopljenih hranjivih soli (nitrati: NO_3^- , nitriti: NO_2^- amonijak: NH_4^+ , ortofosfati: PO_4^{3-} i ortosilikati: SiO_4^{4-}) mjerene su na brodu, odmah nakon uzorkovanja spektrofotometrijskim metodama prema (Ivančić and Degobbi 1984; Parsons et al. 1984) na spektrofotometru Cecil CE 2040 do kraja 2004. godine i na Shimadzu UV-1800 nakon 2004. godine. Točnosti metode za NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} i SiO_4^{4-} su $\pm 3\%$, $\pm 3\%$, $\pm 5\%$, $\pm 3\%$ i $\pm 6\%$, a limiti detekcije $0.05 \mu\text{mol L}^{-1}$, $0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$, $0.1 \mu\text{mol L}^{-1}$, $0.02 \mu\text{mol L}^{-1}$, i $0.05 \mu\text{mol L}^{-1}$ za navedene hranjive soli. Kalibracije su provedene prema (Strickland and Parsons 1968). Svi podaci pohranjeni su u bazu podataka Centra za istraživanje mora.

4.1.3. Mikroskopska analiza fitoplanktona

Uzorci za analizu fitoplanktona svjetlosnom mikroskopijom uzeti su iz istih Niskinovih crpaca kao i za prethodne analize. Morska voda pred filtrirana je kroz mrežu ($300 \mu\text{m}$) i 200 ml uzorka fiksirano je neutraliziranim formalinom (2% konačna koncentracija). Volumen od 50 ml (ponekad 25 , 10 , 5 i 2 ml , ovisno o gustoći stanica) dodan je u sedimentacijsku komoricu gdje je 48 h (ili manje) mirovao kako bi stanice istaložile na dnu komorice. Stanice su brojane Utermöhlom metodom (Utermohl 1958) na Zeiss Axiobserver invertnom mikroskopu opremljenim faznim kontrastom, diferencijalno interferencijskim kontrastom (DIC) i svijetlim poljem. Različiti transekti komorice pregledavani su na $400\times$, $200\times$ i $100\times$ povećanju. Nanofitoplankton ($2 - 20 \mu\text{m}$) i mikrofitoplankton ($20 - 200 \mu\text{m}$) bili su zasebno promatrani. Stanice su identificirane i određene do najviše taksonomske razine. Svi podaci pohranjeni su u bazu podataka Centra za istraživanje mora.

4.1.4. Statistička analiza zajednice fitoplanktona

Skup podataka o fitoplanktonu (ukupno 3436 uzorka) prikazan je kao matrica brojnosti pojedinih vrsta po uzorku. Ukoliko vrste nije bilo u uzorku tada bi njezina brojnost bila prikazana kao 0 . Svaki uzorak jedinstven je s obzirom na datum, mjesto i dubinu uzorkovanja. Brojnosti vrsta pretvorene su u njihove relativne udjele (kvocijent brojnosti vrste i ukupne brojnosti svih vrsta u uzorku). Iz ove matrice dobivena je matrica s Bray-Curtisovim udaljenostima. Konačno, matrica udaljenosti korištena je kako bi se dobio hijerarhijski klastering uzoraka s obzirom na njihovu sličnost. Klasteriranje uzoraka poznato je i kao Q-način ekološke analize, što je suprotno R-načinu gdje vrste budu klasterirane (Legendre i

Legendre 2014). Budući da hijerarhijski klastering podrazumijeva da klasteri nižeg reda budu dijelom većeg klastera, potrebno je odabrati red koji će dalje biti analiziran. Kao prag visine je odabrana je vrijednost 5 što je dalo brojne nehijerarhijske klastere. Za svaki klaster izračunata je takozvana vrijednost siluete (eng. *silhouette score*) koja daje uvid koliko dobro je pojedini klaster određen. Kao prag vrijednosti odabrana je vrijednost od 0.2 što je u konačnici rezultiralo s osam dobro definiranih klastera. Ostali klasteri, ispod tog praga smješteni su u kategoriju „ostali“ i nisu dalje analizirani. Iznimka je analiza predvidljivosti zajednice gdje je omjer broja uzoraka smještenih u pojedini klaster naspram ostalih moguć pokazatelj strukturiranosti zajednice.

Hi kvadrat test (χ^2) test proveden je kako bi se testirala razlika u pojavnosti klastera prije i nakon 2009. godine budući da je tijekom analize viđeno kako se nakon te godine pojavljuju drugačiji klasteri nego prije. Osim toga, razlika je potvrđena i ukoliko se prije i nakon 2009. godine uzme određen broj nasumičnih uzoraka i na isti način testira razlika čime je potvrđeno da učestalost uzorkovanja nije utjecala na analizu.

Kako bi se utvrdile karakteristične svojte u svakom klasteru, korištena je metoda indikatorske vrijednosti (IndVal, od. eng. *indicator value*). Statistički značajne IndVal izračunate su pomoću “labdsv” paketa u programskom jeziku R (Roberts 2019). U ovoj metodi koriste se izvorne apsolutne brojnosti pojedinih svojti, kao i njihove relativne brojnosti. Konačni indeks pokazuje vjerojatnost nalaženja pojedine svojte u danom skupu uzoraka (klasteru), odnosno daje popis karakterističnih svojti (Dufrene i Legendre 1997). Osim indikatorske vrijednosti, u svakom klasteru izračunat je broj različitih svojti (S), Shannonov indeks raznolikosti (H'), (Shannon 1948), Simpsonov indeks raznolikosti (D, Simpson 1949) i Pielouov indeks raznolikosti (J, Pielou 1966). Ovi indeksi izračunati su pomoću paketa “vegan” u R programskom jeziku (Oksanen i sur. 2022).

Okolišni čimbenici korišteni su kao nezavisne varijable u kanoničkoj analizi korespondencije (CCA, od. eng. *canonical correspondence analysis*) u paketu R programskog jezika “vegan” (Oksanen i sur. 2022). U dobivenom CCA prostoru klasteri su naglašeni kako bi se vidio njihov odnos s okolišnim čimbenicima. Kruskal - Wallisov test korišten je kako bi se utvrdilo postojanje statistički značajne ($p < 0.05$) razlike u vrijednostima okolišnih čimbenika između klastera. Razlike su potvrđene *post-hoc* Dunnovim testom (Ogle i sur. 2025). Molarni omjeri između otopljenih dušikovih hranjivih soli (NO_3^- , NO_2^- i NH_4^+) i ortofosfata (PO_4^{3-}) u svim uzorcima izračunati su kako bi se utvrdilo prelazi li taj omjer (N:P) Redfieldov omjer (N:P =

16) što ukazuje na limitaciju fosforom u okolišu (Redfield, Ketchum, i Richards 1963). *T-test* je korišten kako bi se utvrdilo je li taj omjer značajno ($p < 0.05$) viši od 16.

4.2. *Protočna citometrija sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje)*

4.2.1. *Analiza protočnom citometrijom*

Uzorci su odmah nakon uzimanja analizirani protočnom citometrijom sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje, (CytoSense, CytoBuoy BV, Nizozemska).

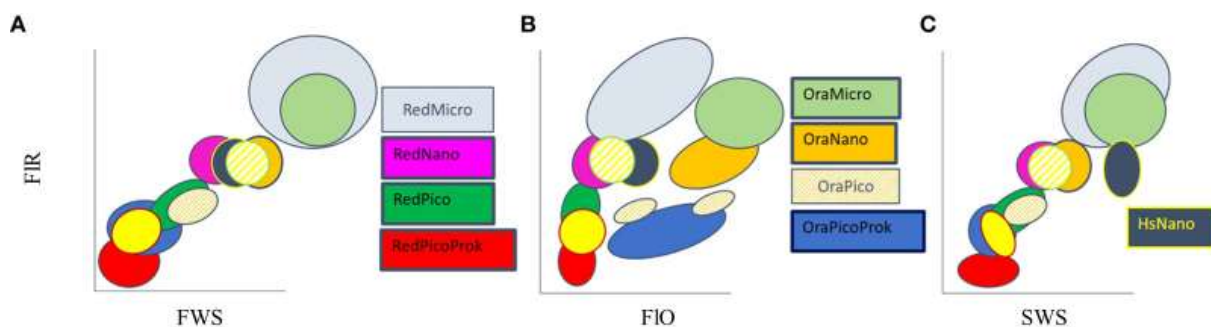
Instrument uzima poduzorak vode u kojoj su suspendirani organizmi pomoću kalibrirane peristaltičke pumpe pa samim time analizirani volumen bude poznat. Uzorak se usmjerava u usku prozirnu protočnu komoru gdje ga obavija sloj vrlo čiste, filtrirane (veličina pore: 0.1 μm) morske vode (eng. *sheath fluid*). Time se postiže hidrodinamičko fokusiranje stanica zbog čega one prolaze kroz komoru jedna za drugom. U komori prolaze kroz lasersku zraku širine 5 μm . Laserska zraka je kombinacija dvaju laserskih izvora svjetla: zelenog (valna duljina: 532 nm, snaga: 70mW) i plavog (valna duljina: 445 nm, snaga: 70 mW). Kada čestica prolazi kroz laserski snop svjetlosti tada se događa nekoliko optičkih fenomena: prednje i bočno raspršenje svjetla te autofluorescencija klorofila *a* i drugih fotosintetskih pigmenata. Šest različitih detektora bilježi te signale: lijevo i desno polarizirano prednje raspršenje (FWS, od eng. *forward scatter*), bočno raspršenje (SWS, od eng. *sideward scatter*), crvena fluorescencija klorofila *a* (FIR, od eng. *red fluorescence*, valna duljina: 665 - 750 nm), žuta fluorescencija (FIY, od eng. *yellow fluorescence*, valna duljina: 570-600 nm) i narančasta fluorescencija (FIO, od eng. *orange fluorescence*, valna duljina: 630-650 nm). Kako bi se prilikom same analize uzorka razlikovale fitoplanktonske stanice od ostalih suspendiranih čestica i neživih stanica utvrđen je minimalni prag vrijednosti koju želimo zabilježiti (eng. *trigger*). Korištena je kombinacija dvaju pragova vrijednosti. Glavni prag vrijednosti korišten u ovome istraživanju je bočno raspršenje (SWS) koji omogućuje zapis cijelog signala stanice. Kao drugi prag vrijednosti korištena je crvena fluorescencija, FIR, kako bi samo stanice koje sadrže klorofil bile zabilježene. Minimalna vrijednost za oba kanala, SWS i FIR određena je tako da je nađena najmanja vrijednost tih signala prilikom koje stanice budu zabilježene umjesto pozadinskog šuma. Dakle, ukoliko prag ima prenisku vrijednost tada mnogo raspadnutih čestica koje sadrže klorofil te pozadinski šum detektora budu zabilježeni, čime se otežava analiza. Suprotno tome, ukoliko prag ima previsoku vrijednost, tada je moguće previdjeti male stanice u analizi, kao i

pogrešno procijeniti veličinu većih stanica, koje će izgledati manje. Zbog svega toga, svaki uzorak je analiziran dvama protokolima: *pico* i *nano*. *Pico* protokol analizira manje volumene (između 120 i 1000 μL), s manjim *trigger* vrijednostima (SWS: 3 mV FI Red: 2 mV). Manji volumen je analiziran zbog toga što ovaj protokol cilja na pikoplanktonske organizme, za koje se očekuje da će biti generalno brojniji u uzorku pa je potrebno izbjeći da protok stanica bude veći od 5000 stanica po sekundi zbog čega dva organizma budu zabilježena kao jedan (koincidencija). *Nano* protokol cilja na nanoplanktonske i mikrop planktonske organizme te analizira veće volumene (između 1800 μL i 12500 μL , zbog manje očekivane brojnosti organizama) i s većim vrijednostima praga (SWS: 30 mV i FI Red: 15 mV). U *nano* protokolu korištena je i kamera za dobivanje mikrofotografija. Kako bi se smanjilo opterećenje memorije korištena je funkcija *smartgrid* zbog koje stanice s istim ukupnim vrijednostima za pojedini kanal ne budu više fotografirane. Kontrola instrumenta i sama analiza uzorka provedeni su u programu CytoUSB5 (CytoBuoy BV, Nizozemska).

4.2.2. Određivanje funkcionalnih grupa

Podaci dobiveni protočnom citometrijom najprije su analizirani u programu CytoClus4 (CytoBuoy BV, Nizozemska). Podaci u tom programu pohranjeni su kao zapisi pulseva stanica i njihove odgovarajuće mikrofotografije (ukoliko je ova opcija odabrana). Osim pulseva i mikrofotografija, u programu su dostupni i brojne varijable pridružene svakoj observaciji.

Grupe su ručno određene na kolekcijama citograma tako da se u njima nalaze slične kolekcije zapisa pulseva i mikrofotografije. Tijekom određivanja grupa, korištene su upute prema standardnom rječniku (Thyssen i sur. 2022), a shematski prikaz očekivanih položaja tih grupa na citogramima prikazan je na **Slici 7**. Međutim, u ovome radu standardni nazivi zamijenjeni približnim taksonomskim nazivima (**Tablica 3**). U *pico* protokolu identificirani su *Prochlorococcus* (RedPicoProk), *Synechococcus* (OraPicoProk) i pikoeukarioti (RedPico). U *nano* protokolu nađeno je više različitih grupa: nanofitoplankton (RedNano), kriptofiti (OraNano), miksotrofi (OraMicro), mikrofitoplankton (RedMicro) i kokolitoforidi (HighSWSNano). Nakon određivanja grupa (eng. *gating*) iz svake grupe izvedeni su podaci poput brojnosti stanica (broj stanica u grupi / analizirani volumen) i ostale vrijednosti varijabli koje daju uvid u količinu pigmenata u grupama, kao i prosječne morfološke značajke stanica u grupama.



Slika 7. Nazivi i položaji funkcionalnih grupa fitoplanktona dobivenih prikazom rezultata protočne citometrije na kolekcijama citograma (Thyssen i sur. 2022). FIR znači intenzitet crvene fluorescencije dok FWS stoji za prednje raspršenje svjetla, FIO za intenzitet narančaste fluorescencije, a SWS za bočno raspršenje svjetla. Nazivi funkcionalnih grupa objašnjeni su u Tablici 1.

Tablica 3. Nazivi funkcionalnih grupa prema standardnom rječniku (Thyssen i sur. 2022) i opisni nazivi prema približnom taksonomskom sastavu odgovarajućih funkcionalnih grupa

Funkcionalana grupa	Opisni naziv
RedMicro	Mikrofitoplankton
OraMicro	Miksotrofi
RedNano	Nanofitoplankton
OraNano	Kriptofiti
HighSWSNano	Kokolitoforidi
RedPico	Pikoeukarioti
RedPicoProk	<i>Prochlorococcus</i>
OraPicoProk	<i>Synechococcus</i>

4.2.3. *Analiza mikrofotografija*

Mikrofotografije dobivene tijekom citometrijske analize pružaju uvid u taksonomski sastav zajednice. Iz te kolekcije slika dobiveni su podaci o prisustvu ili odsutnosti pojedinih svojti koje su bile određene do najniže taksonomske razine. Iako broj fotografija po uzorku ne može poslužiti za određivanje apsolutne brojnosti organizama, ipak je zajednicu moguće analizirati polu kvantitativnim pristupom gdje velik broj fotografija iste svojte ukazuje na veliku brojnost tih organizama. Tako su brojnosti organizama prikazane u tri razine brojnosti: jako cvjetanje mora (10), cvjetanje mora (5) ili je svojta samo prisutna (1). Ti podaci hijerarhijski su klasterirani kako bi se dobio uvid u strukturu zajednice i kako bi se dobile grupirajuće varijable za kasnije analize.

4.2.4. *Morfologija stanica i optička svojstva funkcionalnih grupa*

Kako je objašnjeno ranije, osim brojnosti organizama unutar funkcionalnih grupa moguće je dobiti i brojne druge karakteristike. Jedna od karakteristika je udio biovolumena stanica u volumenu uzorka, što se računa kao zbroj ukupnog FWS svih stanica podijeljen s analiziranim volumenom. Konačna vrijednost izražena je kao arbitrarna jedinica po mikrolitru. Na sličan način računa se i udio klorofila po uzorku pri čemu se koristi zbroj ukupnog FIRed umjesto FWS. Duljinu lanaca moguće je dobiti iz duljine FWS signala na polovici visine zapisa pulsa. Broj stanica u lancu odgovara broju lokalnih maksimuma u zapisu pulsa. Duljina pojedinih stanica u lancu dobiva se dijeljenjem duljine lanca s brojem stanica u lancu. Asimetrija daje vrijednost asimetričnosti oblika zapisa pulsa, što daje uvid u složenost kolonija stanica, ili samih stanica. Sferičnost se računa oduzimanjem faktora popunjavanja od broja 1. Faktor popunjavanja je mjera odstupanja oblika zapisa pulsa od pravokutnog oblika. Veća sferičnost ukazuje da su stanice sferičnog oblika dok manja vrijednost ukazuje na više izdužene stanice (Fragoso i sur. 2019). Kako bi se dobio pokazatelj biovolumena pojedinih stanica u lancu potrebno je podijeliti srednju vrijednost ukupnog FWS jedne kolonije sa srednjom vrijednosti broja stanica (broj maksimuma FWS zapisa pulsa). Strukturalna složenost stanica (granulacija) je omjer između ukupnog SWS i FWS signala. Viši omjer ukazuje na složeniju ultrastrukturu stanica ili na postojanje staničnih nastavaka. Specifični stanični klorofil je omjer između vrijednosti FIR i ukupnog FWS signala, odnosno udio klorofila po biovolumenu stanice. Omjer karotenoida (fikocijanina i fikoeritrina) i klorofila je omjer vrijednosti signala fluorescencije pigmenata, (FIYe + FIO): FIR.

4.2.5. *Klaster analiza vrsta s mikrofotografija*

Kako bi se razlikovale potencijalno različite zajednice fitoplanktona korištena je metoda hijerarhijskog klasteriranja podataka (metoda “ward.D2”, funkcija “hclust” u R programskom jeziku). Prije klasteriranja izračunata je matrica udaljenosti (metoda “bray”, funkcija “vegdist” iz paketa “vegan” (Oksanen i sur. 2022) u R programskom jeziku). Za prikaz rezultata hijerarhijskog klasteriranja korišten je R paket “dendextend” (Galili 2015) kako bi se prikazalo grupiranje uzoraka. Konačni klasteri (nehijerarhijski) dobiveni su rezanjem dendrograma.

4.3. *Analiza fitoplanktona na Po transektu 2023. - 2024.*

Uzorci za analizu protočnom citometrijom sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje) uzimani su na Po transektu tijekom 2023. i 2024. godine. Analizirani su okolišni čimbenici (temperatura i salinitet) protokolima objašnjenima u poglavlju 3.1.2. Fitoplankton je analiziran dvjema metodama: svjetlosnom mikroskopijom (poglavlje 3.1.3) te protočnom citometrijom sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje) protokolom objašnjenim u poglavlju 3.2.. Svi ovi uzorci su uzeti iz istih crpaca kao i u poglavlju 3.1.1. zbog čega se uzorci analizirani protočnom citometrijom poklapaju s onima obrađenim u analizi dugoročnih promjena fitoplanktona.

Brojnosti fitoplanktona u funkcionalnim grupama dobivenim analizom protočnom citometrijom sa zapisom pulsa uspoređene su s brojnostima fitoplanktona u odgovarajućim taksonomskim skupinama i veličinskim frakcijama. Kako bi se usporedile ove dvije metode analize fitoplanktona uspoređene su ukupne brojnosti fitoplanktona putem linearne regresije. Razlike u brojnosti između dviju metoda testirane su Welchovim *t*-testom. Uspoređeni su i brojevi svojti dobiveni objema metodama pomoću Wilcoxonova testa ($p < 0.05$) te linearne regresije. Linearne regresije korištene su kako bi se ispitalo mogu li obje metode opisati slične trendove u brojnosti i raznolikosti fitoplanktona. Za obje metode izračunate su i krivulje rarefakcije, Arrheniusov model, kako bi se vidjelo mogu li obje metode dobro opisati raznolikost (Dengler 2009).

Uzorci analizirani protočnom citometrijom sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje) dodatno su analizirani u kontekstu ekologije sjevernog Jadrana. Analizirana su optička svojstva fitoplanktonskih stanica (poglavlje 3.2.4) te klasteri uzoraka temeljni na brojnosti svojti na mikrofotografijama (poglavlje 3.2.5).

Klasteri dobiveni analizom objašnjenom u poglavlju 3.2.5 prikazani su u vremenu i prostoru kako bi se dobio uvid u promjenu fitoplanktonske zajednice (ili izmjena različitih zajednica). Kako bi se vidjela povezanost između uzoraka, različitih karakteristika stanica, okolišnih

čimbenika te brojnosti organizama u funkcionalnim grupama korištena je analiza glavnih komponenti, PCA (eng. *principal component analysis*). Za prikaz PCA rezultata korišten je “ggfortify” R paket (Tang, Horikoshi, i Li 2016). Klasteri su prikazani u PCA prostoru kako bi se vidio njihov odnos unutar njega. Statistički značajne ($p < 0.05$) korelacije između različitih karakteristika stanica, okolišnih čimbenika i brojnosti organizama u funkcionalnim grupama dobivene su korištenjem Spearmanovog korelacijskog testa. Rezultati su prikazani pomoću R paketa “ggcorrplot” (Kassambara 2022).

4.4. Praćenje brzih promjena u zajednici fitoplanktona

Za dobivanje *in situ* oceanografskih, bioloških i meteoroloških podataka korišteni su podaci sa senzora na DB8000 (Mobilis, Francuska) oceanografskoj plutači “CIM ODAS II”, smještenoj 6 nautičkih milja zapadno od Rovinja.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) i salinitet mjereni su pomoću SBE16 (Seabird Scientific, SAD) CTD sonde na dubini od 1 m. ECO fluorimetar (Seabird Scientific, SAD) povezan s CTD sondom korišten je za mjerenje koncentracije klorofila *a* ($\mu\text{g/L}$), turbiditeta (NTU) i zelenog raspršenja ($\beta(532)$, $\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$). SBE63 optički senzor (Seabird Scientific, SAD), povezan s CTD sondom korišten je za mjerenje koncentracije otopljenog kisika (mL/L). Brzina vjetra (m s^{-1}) mjerena je na meteorološkoj postaji na plutači.

Uzorci za analizu protočnom citometrijom sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje) uzimani su dnevno u uvali Valdibora, u Rovinju, počevši s datumom 9.6.2024. do 16.11.2024. U analizu je dodano i nekoliko uzoraka prije početka fenomena sluzavih nakupina, koji su uzimani jednom mjesečno. Pristup sluzavih nakupina također je bilo zabilježeno ukoliko su bile prisutne na mjestu uzorkovanja. Zbog mogućnosti začepjenja instrumenta, uzorkovanje samih agregata bilo je izbjegavano ukoliko je to bilo moguće. Uzorci su potom analizirani protokolom objašnjenim u poglavlju 3.2.

Klasteri dobiveni analizom objašnjenom u poglavlju 3.2.5 prikazani su u vremenu kako bi se dobio uvid u promjenu fitoplanktonske zajednice (ili izmjena različitih zajednica). Kako bi se vidjela povezanost između uzoraka i različitih karakteristika stanica ili okolišnih čimbenika ili brojnosti organizama u funkcionalnim grupama korištena je analiza glavnih komponenti, PCA (eng. *principal component analysis*). Za prikaz PCA rezultata korišten je “ggfortify” R paket (Tang, Horikoshi, i Li 2016). Klasteri iz prethodne analize prikazani su u PCA prostoru kako bi se vidio njihov odnos unutar njega. Statistički značajne ($p < 0.05$) korelacije između različitih

karakteristika stanica, okolišnih čimbenika i brojnosti organizama u funkcionalnim grupama dobivene su korištenjem Spearmanovog korelacijskog testa. Rezultati su prikazani pomoću R paketa “ggcorrplot” (Kassambara 2022). Sve analize i obrade podataka rađene su u R programskom jeziku (R Core Team 2023).

5. REZULTATI

5.1. Dugoročne promjene u zajednici fitoplanktona

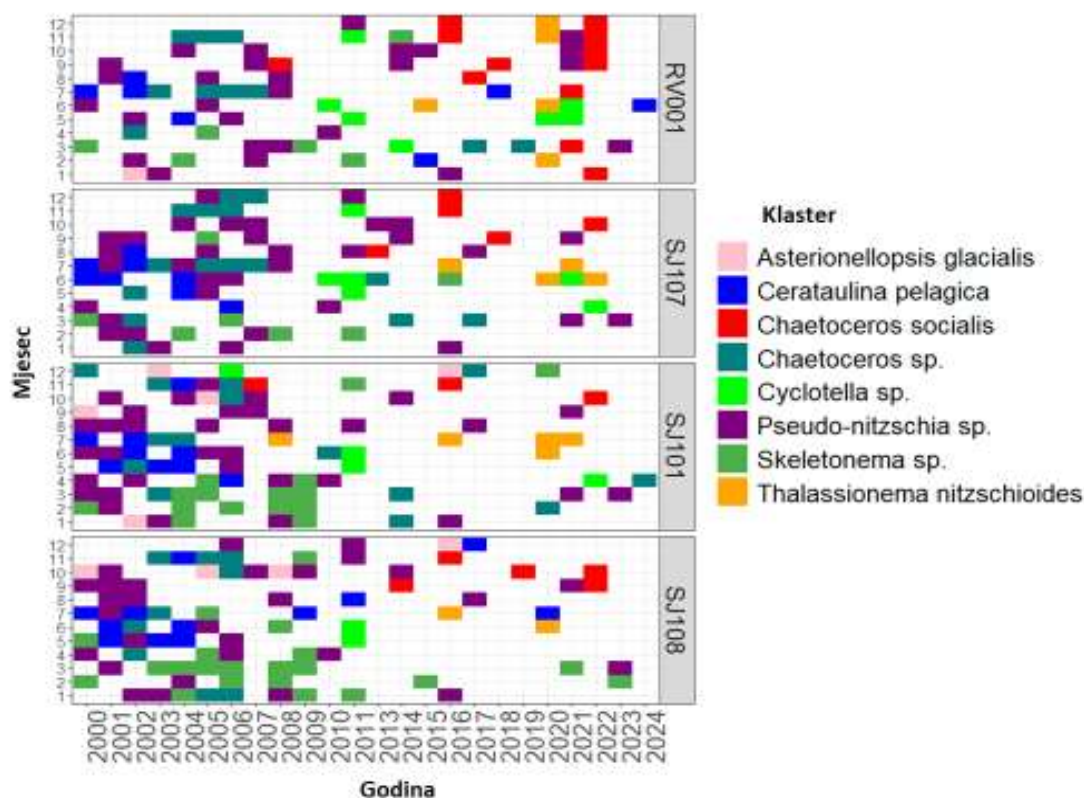
5.1.1. Sastav fitoplanktona

U istraživanju je ukupno determinirano **410** svojti prepoznatih do najniže moguće taksonomske razine. Dijatomeje (**169**) i dinoflagelati (**189**) pokazuju najveći broj svojti. Treća najraznolikija skupina su Prymnesiophyceae (zajedno s kokolitoforidima), **28** svojti. Pronađeno je **6** svojta silikoflagelata, **3** zlatno-smeđih algi. Nanofitoplankton nije uzet u obzir zbog toga što nije bio analiziran tijekom cijelog razdoblja uzorkovanja istom metodologijom pa bi uzimanjem njega u obzir bila uvedena velika greška. Najčešće svojte dijatomeja bile su *Pseudo-nitzschia* sp. (73,60 %), neidentificirane penatne dijatomeje (68,83%), *Cerataulina pelagica* (55,98%), *Thalassionema nitzschioides* (53,33%), *Dactyliosolen fragilissimus* (49,49%) i *Proboscia alata* (48,27%). Najčešći dinoflagelati bili su *Tripos fusus* (30,21) i *Gymnodinium* sp. (27,19%). *Syracosphaera pulchra* (23,82%) najčešći je kokolitoforid u mikro frakciji. Najveće brojnosti postigle su svojte *Cerataulina pelagica* (10045000 stanica po litri), *Skeletonema* sp. (8898500 stanica po litri), *Pseudo-nitzschia* sp (8879780 stanica po litri). i *Chaetoceros* sp. (2210450 stanica po litri).

5.1.2. Klaster analiza fitoplanktona

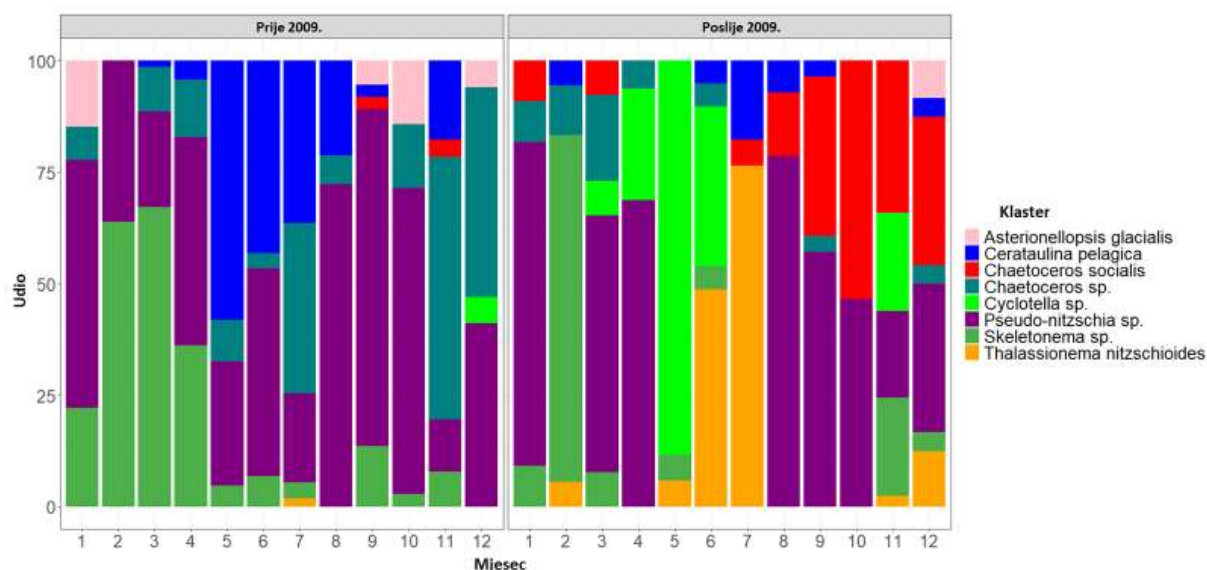
Klaster analizom pronađeno je devet jasno određenih klastera koji ugrubo opisuju zajednicu fitoplanktona u sjevernom Jadranu Indikatorske vrijednosti (IndVal) pokazuju karakteristične vrste u svakom klasteru. Klasteri su nazvani prema njihovoj karakterističnoj vrsti s najvišom indikatorskom vrijednosti (**Prilog 1.**), pa se tako razlikuju *Asterionellopsis glacialis*, *Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros* sp., *Cyclotella* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., *Skeletonema* sp. i *Thalassionema nitzschioides* klaster. Glavne karakteristične vrste u svakom klasteru su ujedno i njihove najbrojnije i najčešće vrste (**Prilog 2 i Prilog 3**), te ovi klasteri dobro opisuju pojedine epizode cvjetanja mora izazvanih njihovim karakterističnim vrstama (**Prilog 4**). Osim njih, u svakom klasteru nađene su i druge karakteristične vrste koje će biti spomenute dalje u tekstu. Svaki klaster pokazao je drugačiju vremensku i prostornu pojavnost. *Asterionellopsis glacialis* klaster bio je prisutan u zimskim mjesecima 2002. 2005. i 2009. godine. Ovaj klaster pojavio se još i 2017. godine i nakon toga više nije bio prisutan.

Ostale karakteristične vrste u tom klasteru bile su *Chaetoceros curvisetus*, *Rhizosolenia imbricata* i *Dictyocha fibula*. Drugi klaster karakteriziran je vrstom *Cerataulina pelagica*. Ovaj vrlo periodičan klaster bio je tipičan za kasno proljeće i rano ljeto u razdoblju od 2000. do 2004. godine. Nakon toga ovaj klaster gubi na važnosti, sve do lipnja 2024. godine kada se ponovo pojavio na postaji RV001. Treći klaster, nazvan *Chaetoceros socialis*, postaje bitniji nakon 2014. godine. Na istočnoj obali sjevernog Jadrana ovaj klaster bio je glavni jesenski klaster u 2016. i 2022. godini. Četvrti klaster nazvan je po rodu *Chaetoceros*, gdje su prevladavale neidentificirane vrste iz tog roda. Ovaj klaster također gubi na važnosti nakon prvog desetljeća istraživanog perioda. Peti klaster nazvan je po rodu *Cyclotella*. Prije 2010. godine ovaj klaster nije bio prisutan u uzorcima. Šesti klaster karakteriziran je samo jednom svojtom, rodnom *Pseudo-nitzschia*. Ovaj klaster pokazuje slabi pad u pojavnosti tijekom vremena. Pojavljuje se u različitim dijelovima godine pogotovo u ranoj zimi i kasnom ljetu i tijekom jeseni. Sedmi klaster karakteriziran je rodnom *Skeletonema*. Ovaj klaster je također jedan od onih kojima se pojavnost bitno smanjila tijekom vremena. Sezonalnost ovog klastera je bimodalna, s dva vrhunca tijekom godine: rana zima i jesen. Osmi klaster karakteriziran je vrstom *Thalassionema nitzschioides*. Ovaj klaster bio je vrlo karakterističan za ljeto 2021. godine. Klaster analiza uspješno je identificirala i karakterizirala događaje cvjetanja mora (**Prilog 4**). Također, klaster analiza pokazala je raspored različitih zajednica u prostoru i vremenu (**Slika 8, Prilog 4**) te je otkrila promjene u sezonalnosti, kao i dugoročne promjene u fitoplanktonskoj zajednici koji će biti detaljnije opisani dalje u rezultatima. Popisi indikatorskih svojti, najčešćih i najbrojnih svojti dani su u **Prilozi 1. - 3.**



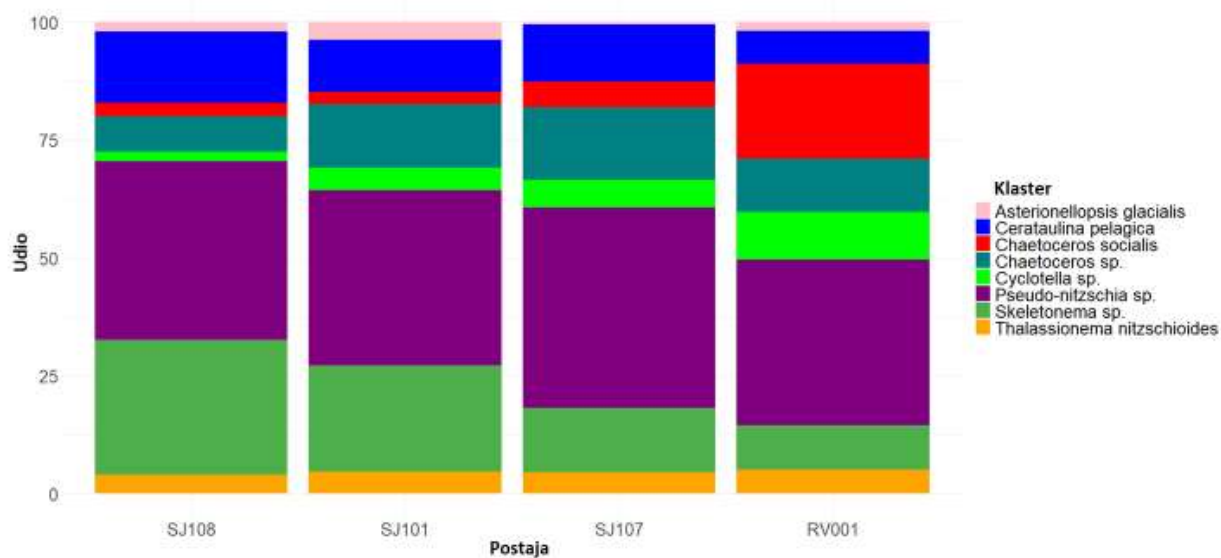
Slika 8. Prikaz najčešćih klastera fitoplanktonske zajednice prikazanih po mjesecima na svakoj od postaja (RV001, SJ107, SJ101 i SJ108) tijekom istraživanog razdoblja (2000. – 2024. godina).

Ukoliko se pojavnost klastera promatra mjesečno, moguće je dobiti grubi prikaz godišnje sukcesije fitoplanktona (**Slika 9**). Vidljiva je promjena karakterističnih obrazaca sukcesije tijekom vremena gdje je jedan obrazac prešao u drugi nakon 2009. godine. Prije 2009. godine sukcesija je izgledala tako da je zimska zajednica fitoplanktona dominirana svojcima *Pseudo-nitzschia*, *Skeletonema* i *A. glacialis* bila zamijenjena zajednicom u kojoj prevladava *Cerataulina pelagica*. Nakon toga, tijekom jeseni bi se ponovo uspostavila slična zajednica kao i tijekom zime, uz veći značaj roda *Pseudo-nitzschia*. Nakon 2009. godine pojavio se vrlo drugačiji obrazac sukcesije. Rana zima i proljeće pokazuju sličan obrazac kao i prije, iako s više sporadičnim porastima brojnosti. Nakon toga prevladavaju rodovi *Pseudo-nitzschia* i *Cyclotella*. S ranim ljetom započinje prevladavati *Thalassionema nitzschioides*. Tijekom jeseni moguće je prevladavanje roda *Pseudo-nitzschia* ili vrste *Chaetoceros socialis*. S krajem godine moguće je vidjeti i pojavnost *A. glacialis* klastera.



Slika 9. Obrasci sukcesije fitoplanktonske zajednice prije i nakon 2009. godine prikazani kao prosječni udjeli klastera po mjesecima tijekom godine

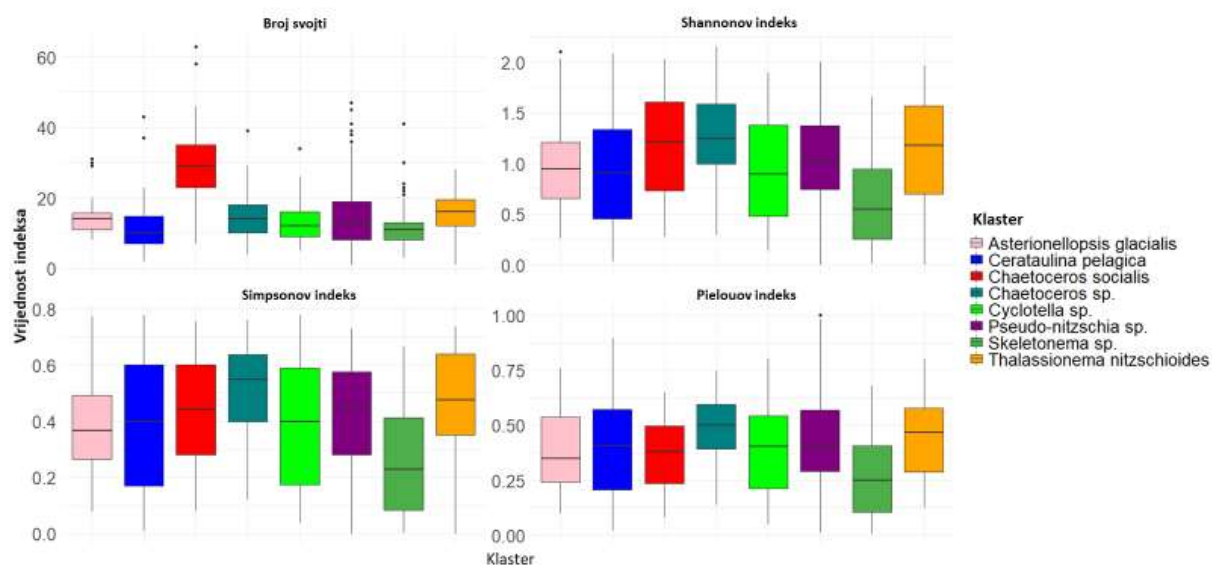
Prostorni raspored klastera pokazuje preferencije *Skeletonema* sp. klastera prema zapadnim lokacijama (SJ108 i SJ101) dok *Cyclotella* sp. i posebice *Chaetoceros socialis* klasteri preferiraju istočnu obalu sjevernog Jadrana (SJ107 i RV001). *Pseudo-nitzschia* sp. klaster pokazuje velik udio na svim lokacijama iako pokazuje blage preferencije prema postaji SJ107. *Cerataulina pelagica* klaster pokazuje najmanji udio na istočnoj obali Jadrana (Slika 10).



Slika 10. Prosječni udjeli klastera po postajama, odnosno prostorni raspored zajednica fitoplankotna od zapada prema istoku (s lijeva na desno).

5.1.3. Indeksi raznolikosti u klasterima

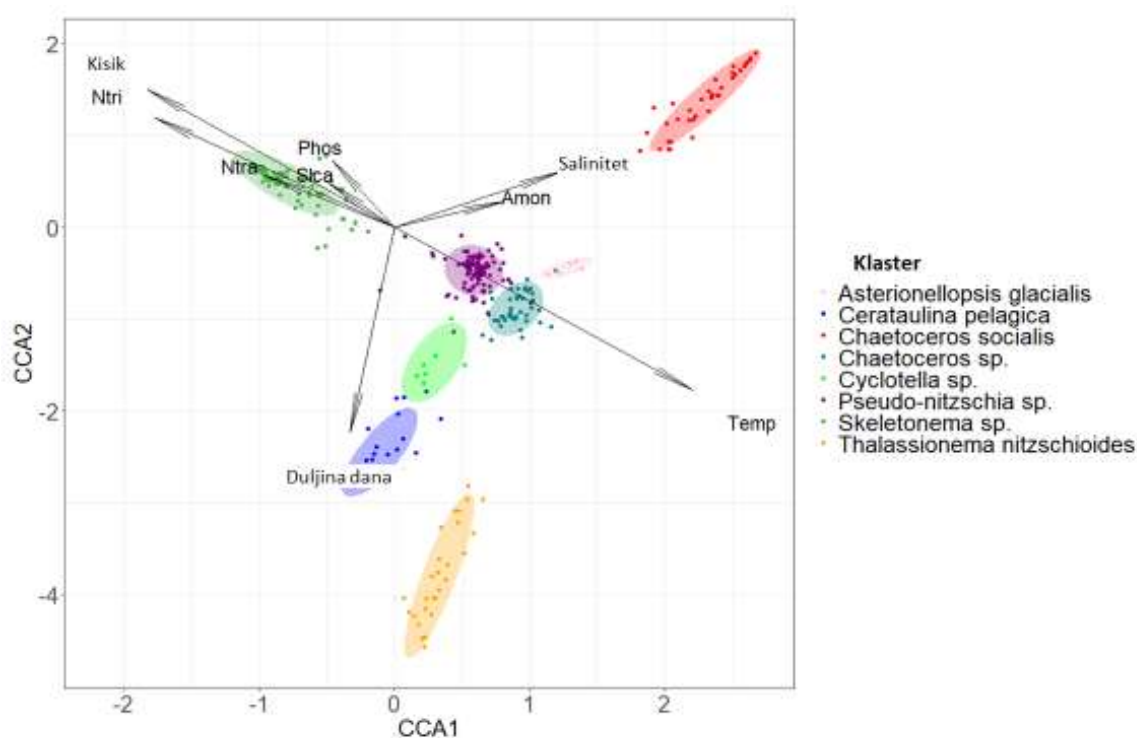
Najviši medijan broja vrsta nađen je u klasteru *Chaetoceros socialis*, zatim u klasteru *Thalassionema nitzschoides* i *Asterionellopsis glacialis*. *Cerataulina pelagica* i *Skeletonema* sp. klasteri imaju najniže brojeve vrsta. Shannonov i Simpsonov indeks raznolikosti imaju najveće medijane u klasterima *Asterionellopsis glacialis* i *Chaetoceros socialis* dok su najniže vrijednosti bile u klasterima *Cerataulina pelagica* i *Skeletonema* sp. Pielouov indeks raznolikosti pokazuje najveće vrijednosti u klasterima *Asterionellopsis glacialis* i *Thalassionema nitzschoides*, a najniže u klasteru *Skeletonema* sp. Indeksi raznolikosti u klasterima prikazani su na **Slici 11**.



Slika 11. Indeksi raznolikosti (broj svojti, Shannonov, Simpsonov i Pielouov index) u različitim klasterima.

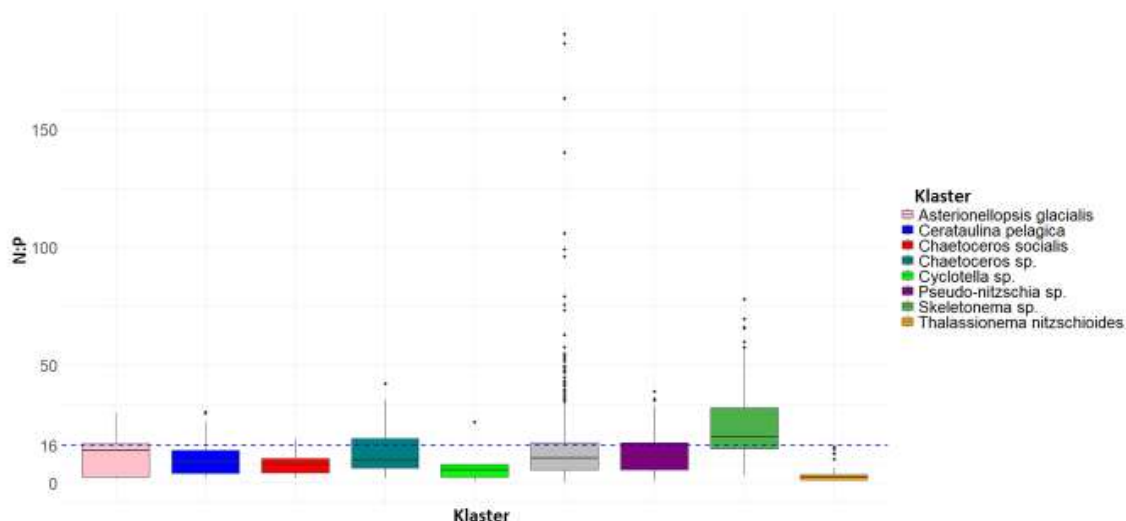
5.1.4. Utjecaj okolišnih čimbenika na zajednicu fitoplanktona i predvidljivost zajednice

Kanonička analiza korespondencije (CCA) pokazuje da su klasteri fitoplanktona dobro odvojeni i definirani s obzirom na okolišne čimbenike (**Slika 12**). To pokazuje da su ekološki uvjeti utjecali na pojavnost različitih klastera. Temperatura pokazuje negativnu povezanost s CCA1 osi dok su otopljene hranjive soli (ortofosfati, silikati, nitrati i nitriti) te kisik pozitivno povezani s tom osi. Time ovi čimbenici objašnjavaju najviše varijance. Otopljeni amonijevi ioni i salinitet pozitivno su povezani s CCA2 osi dok je duljina dana negativno povezana s njome. *Skeletonema* sp. klaster pozitivno je povezan s koncentracijom otopljenih hranjivih soli (osim amonijevih iona) i kisika. *Chaetoceros socialis* klaster pozitivno je povezan sa salinitetom i koncentracijom amonijevih iona. Klasteri *Cyclotella* sp., *Cerataulina pelagica* i *Thalassionema nitzschioides* pozitivno su povezani s duljinom dana. Razlike između srednjih vrijednosti čimbenika potvrđene su Kruskal-Wallisovim testom i Dunnovim *post hoc* testom (prag značajnosti: $p < 0.05$, **Prilog 5**).



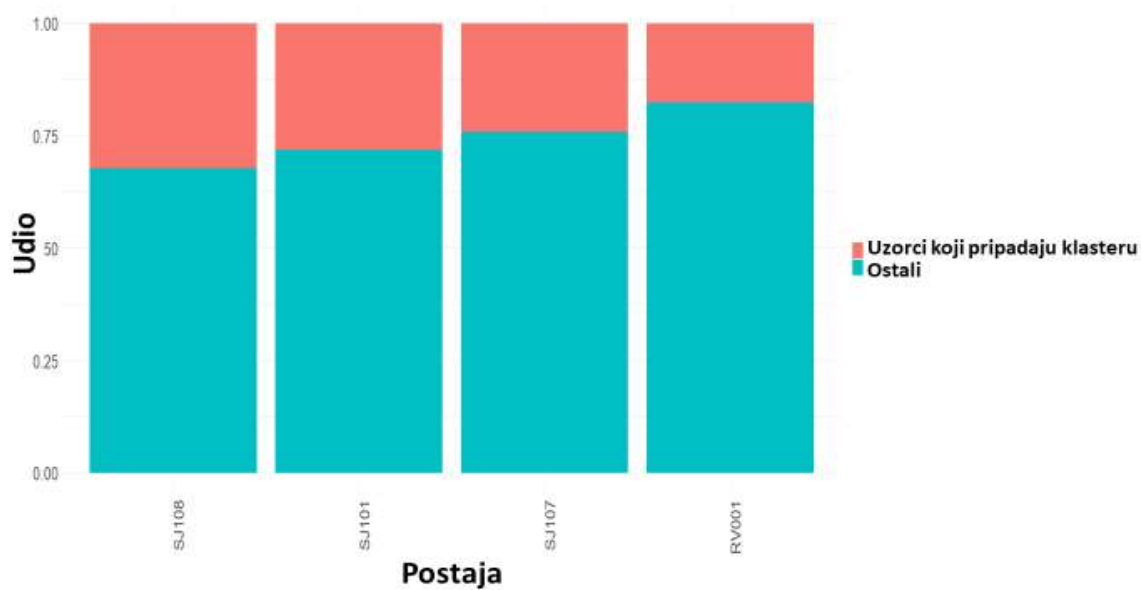
Slika 12. Prikaz rezultata CCA analize. Kratice: ortofosfati fosfati (Phos), nitriti (Ntri), nitrati (Ntra), ortosilikati (Slca), amonijevi ioni (Amon), temperatura (Temp).

Brojni uzorci pronađeni su u uvjetima ograničenja fosforom (omjer N:P veći od 16). Veliki dio tih uzoraka ne pripada ni jednom klasteru. Većina uzoraka koji pripadaju određenom klasteru nađeni su u uvjetima kada nije bilo ograničenja fosforom, osim onih koji pripadaju *Skeletonema* sp. klasteru, koji većinom budu pronađeni u uvjetima ograničenosti dostupnosti fosfora ($p < 0.05$, t -test), **Slika 13**.

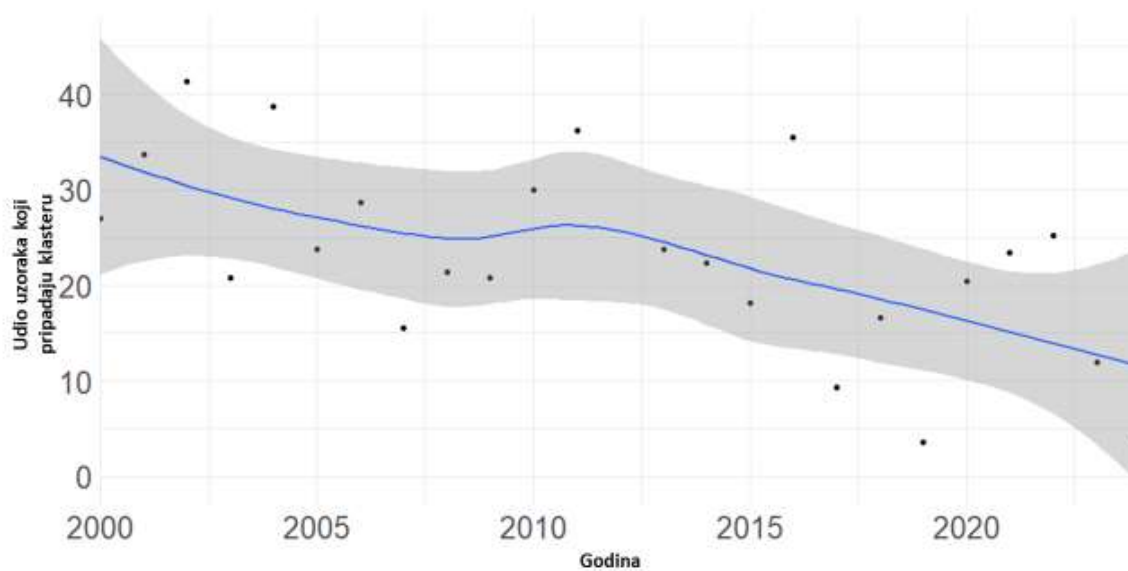


Slika 13. Molarni omjeri dušika i fosfora (N:P) u različitim klasterima. Siva boja označava uzorke koji ne pripadaju ni jednom klasteru. Isprekidana linija označava Redfieldov omjer (Alfred C. Redfield 1934), koji iznosi 16.

Ukoliko se usporede omjeri uzoraka koji pripadaju određenom klasteru i onih koji ne, moguće je vidjeti trendove predvidljivosti fitoplanktonske zajednice. Vidljivo je kako prevladavaju uzorci koji nisu u klasterima, ali i kako udio klasteriranih uzoraka raste od istoka prema zapadu, odnosno prate ekološki gradijent prema ušću rijeke Po (**Slika 14**). Tijekom vremena vidljiv je trend smanjenja udjela klasteriranih uzoraka naspram ostalih što ukazuje na smanjenje predvidljivosti u zajednici fitoplanktona (**Slika 15**).



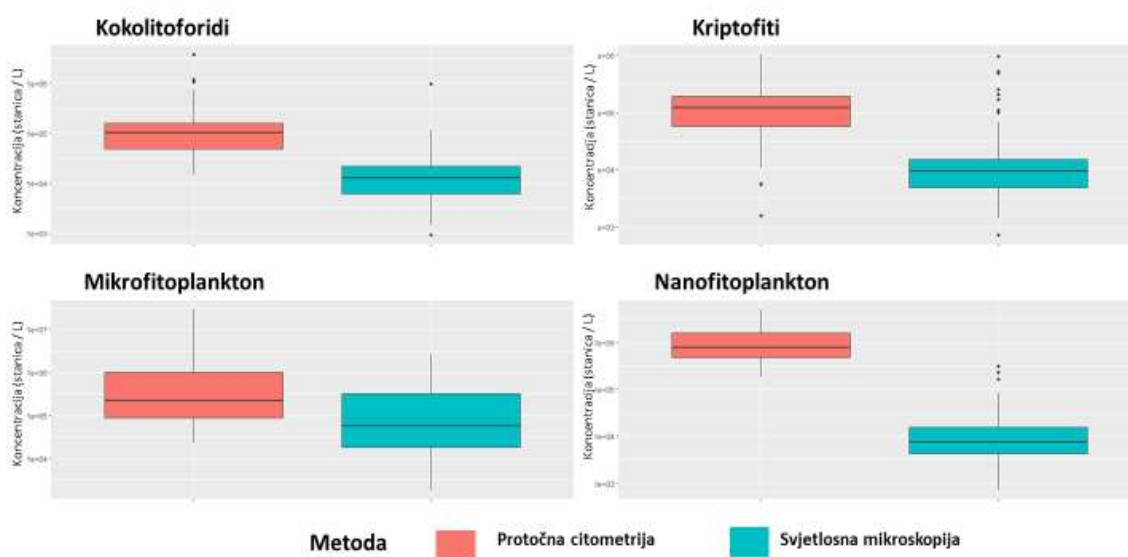
Slika 14. Udjeli uzoraka koji pripadaju određenom klasteru spram ostalih koji ne pripadaju po postajama. Postaje su poredane od zapada (lijevo) prema istoku (desno).



Slika 15. Udjeli uzoraka koji pripadaju određenom klasteru spram ostalih koji ne pripadaju tijekom godina.

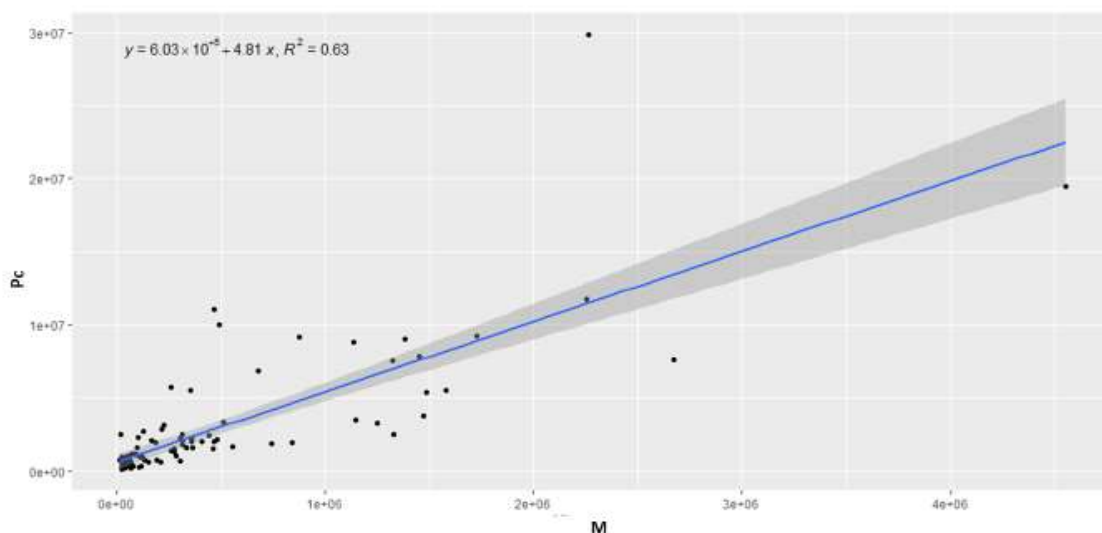
5.2. Usporedba brojnosti i raznolikosti fitoplanktona dobivenih metodama svjetlosne mikroskopije i protočne citometrije sa zapisom pulsa

Usporedbom brojnosti funkcionalnih grupa dobivenih svjetlosnom mikroskopijom i protočnom citometrijom sa zapisom pulsa vidljivo je da protočna citometrija nalazi više organizama u svim funkcionalnim grupama: kriptofitima, kokolitoforidima i ostalom nanofitoplanktonu te mikrofitoplanktonu (**Slika 16**). Razlike u srednjim vrijednostima između obiju metoda kod svih grupa su statistički značajne (t -test, $p < 0.05$).



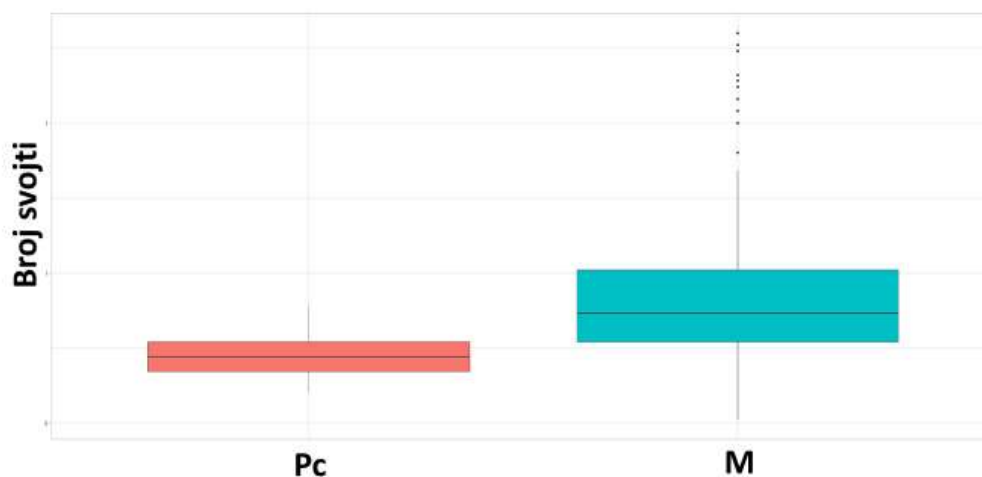
Slika 16. Usporedba brojnosti stanica funkcionalnih grupa dobivenih protočnom citometrijom sa zapisom pulsa i odgovarajućih grupa dobivenih svjetlosnom mikroskopijom.

Ukoliko se usporede ukupne brojnosti fitoplanktona dobivene protočnom citometrijom sa zapisom pulsa i svjetlosnom mikroskopijom, vidljiva je linearna korelacija između njihovih brojnosti, odnosno obje metode otkrivaju iste trendove u brojnosti fitoplanktona (**Slika 17**).

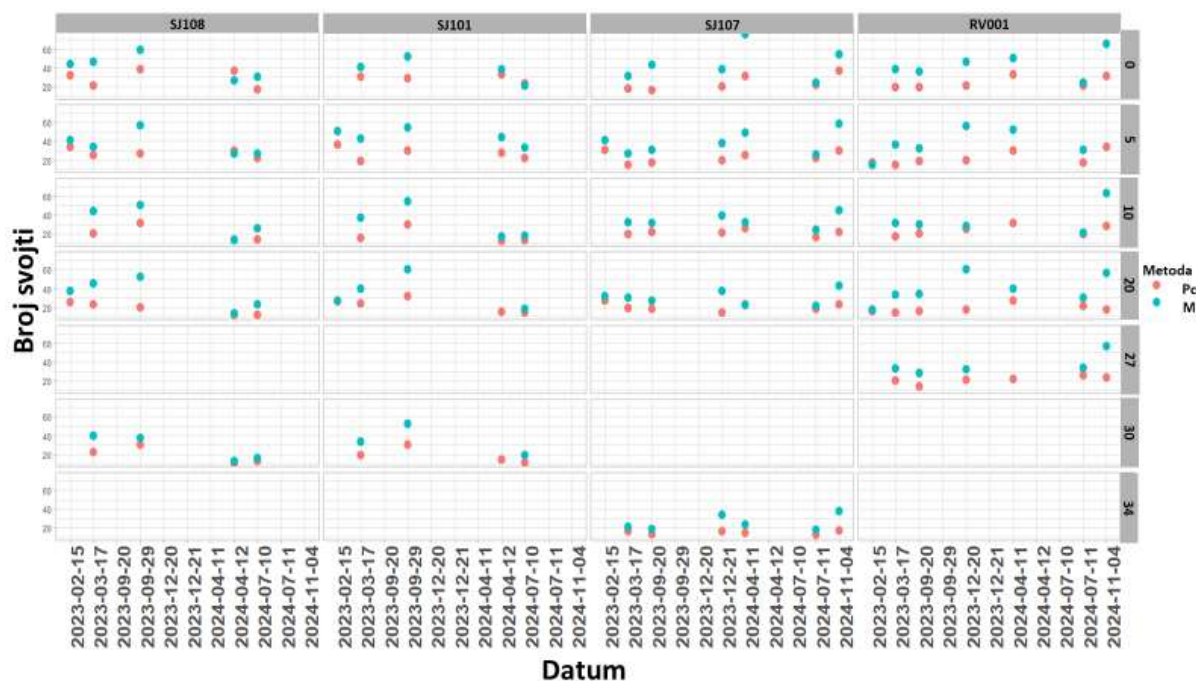


Slika 17. Usporedba ukupnih brojnosti fitoplanktona dobivenih protočnom citometrijom sa zapisom pulsa (Pc) i svjetlosnom mikroskopijom (M), jednadžbe pravca te R^2 .

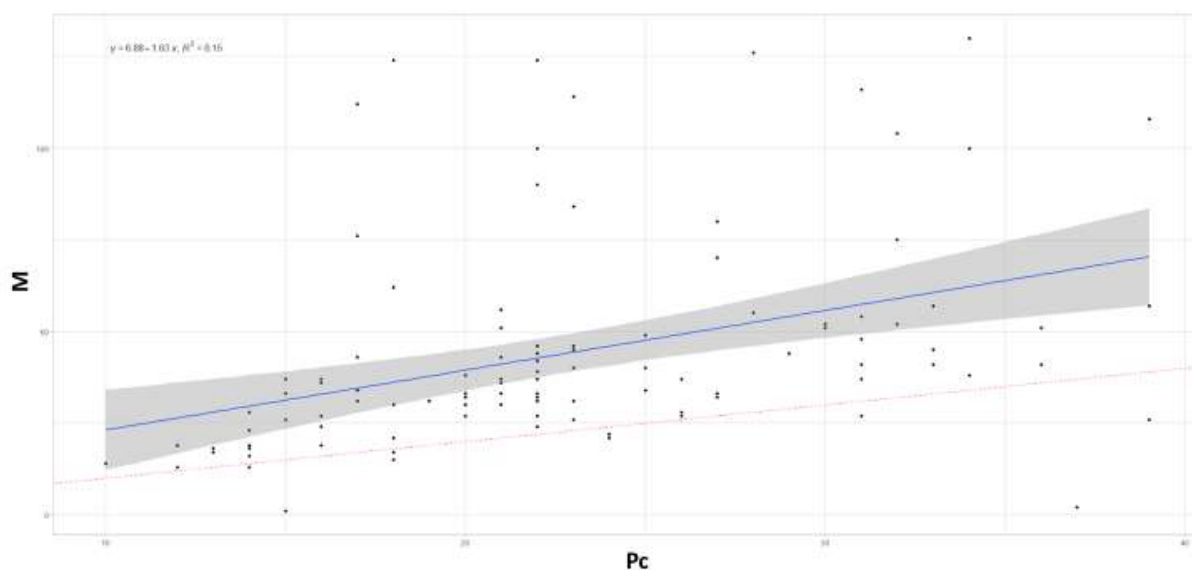
Brojevi svojti pronađene na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra redovito su manji od brojeva svojti pronađenih svjetlosnom mikroskopijom (**Slika 18**). Međutim, iako mikroskopija nalazi značajno više svojti (Wilcoxonov test, $p < 0.05$), vidljiva je pozitivna linearna korelacija između brojeva svojti dobivenih s obje metode, te da obje metode otkrivaju slične trendove u raznolikosti, (**Slika 19** i **Slika 20**).



Slika 18. Broj svojti nađen objema metodama: dobivenih protočnom citometrijom sa zapisom pulsa (Pc) i svjetlosnom mikroskopijom (M).

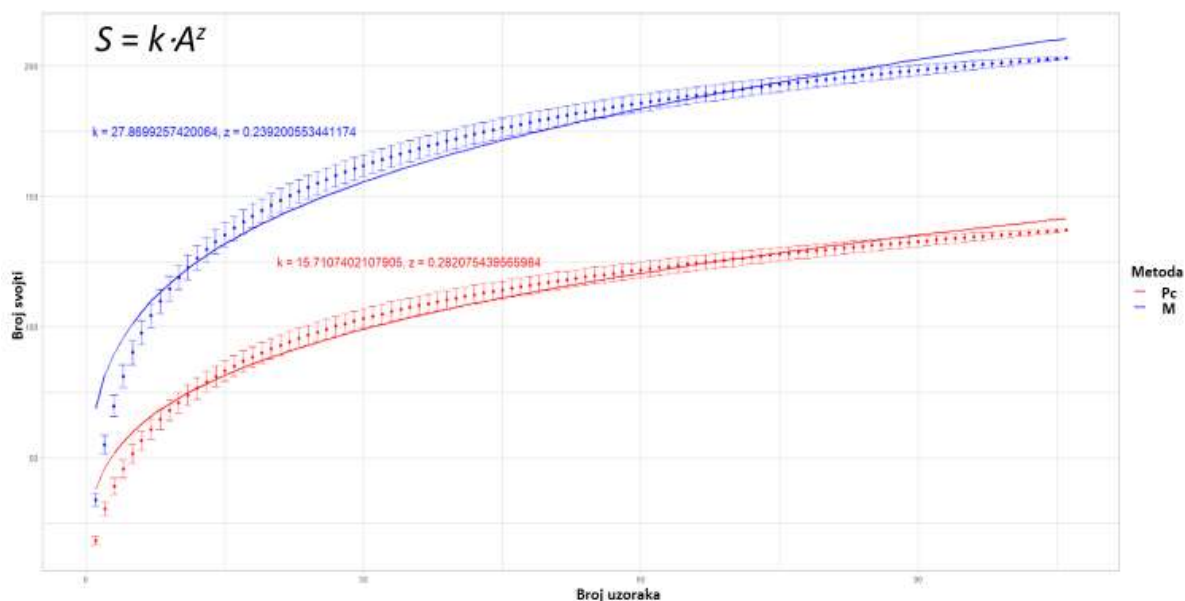


Slika 19. Broj svojti nađen u svakom uzorku (prikazan datumom (2000. – 2024.) i dubinom (0, 5, 10, 20, 27, 30 i 34 m) uzorkovanja) metodom protočne citometrije sa zapisom pulsa (Pc) i svjetlosne mikroskopije (M).



Slika 20. Usporedba raznolikosti svojti dobivenih analizom mikrofotografija protočne citometrije sa zapisom pulsa (Pc) i svjetlosnom mikroskopijom (M), jednađba pravca te R^2 . Crvena točkasta linija prikazuje hipotetski 1:1 omjer raznolikosti.

Krivulja rarefakcije potvrđuje učinkovitost obje metode, budući da se s povećanjem broja uzoraka smanjuje nagib krivulje, odnosno dolazi do izravnjavanja krivulje što upućuje na to da s povećanjem broja uzoraka ne raste broj novih pronađenih svojti. Na krivuljama je vidljivo da svjetlosna mikroskopija detektira veći broj vrsta, ali obje metode pokazuju vrlo sličan z koeficijent ($z = 0.24$ za svjetlosnu mikroskopiju i $z = 0.28$ za protočnu citometriju), odnosno raznolikost se povećava sličnom brzinom s dodatnim uzorkovanjem (**Slika 21**).



Slika 21. Usporedba krivulja rarefakcija dviju metoda: analize mikrofotografija protočne citometrije sa zapisom pulsa (Pc) i svjetlosne mikroskopije (M), te vrijednosti koeficijenta k i z iz Arrheniusova modela (Dengler 2009) prikazanog u gornjem lijevom kutu.

Obje metode uspješno nalaze velik broj dijatomeja, dinoflagelata i kokolitoforida. Međutim, svjetlosna mikroskopija našla je više vrsta dijatomeja (94) nego što ih je nađeno na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa (66). Slična je situacija i kod dinoflagelata kojih je više nađeno metodom svjetlosne mikroskopije (86), nego na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa (47). U slučaju kokolitoforida, kao i preostalih skupina, rezultati su slični za obje metode. Nerazvrstani nanofitoplankton je skupina koja je pronađena samo putem protočnog citometra sa zapisom pulsa (**Slika 22**). Obje metode uspješno otkrivaju prisutnost svojti s velikim brojnostima poput *Pseudo-nitzschia* sp., *Chaetoceros wighamii*, *Skeletonema* sp., kriptofita i ostalih navedenih **Prilogu 6**. Vrste nađene samo putem svjetlosne mikroskopije su one s manjim brojnostima poput *Oscillatoria* sp., *Prorocentrum vaginula* i ostalih navedenih u **Prilogu 7**. Mali je broj svojti nađen isključivo na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa poput *Azadinium caudatum*, *Cochlodinium* sp., neodređenih cijanobakterija i već spomenutog neodređenog nanofitoplanktona (**Prilog 8**). Zadnje dvije grupe lako su identificirane zbog karakterističnih fluorescencijskih signala.

Razred	Xanthophyceae	1	1
	Prymnesiophyceae	11	12
	Prasinophyceae	1	1
	Nanofitoplankton	1	
	Euglenoidea	1	2
	Dinophyceae	47	86
	Dictyochophyceae	3	3
	Cyanobacteria	1	1
	Cryptophyceae	1	1
	Chrysophyceae	1	2
	Chlorophyceae	1	1
	Bacillariophyceae	66	94
		Pc	M

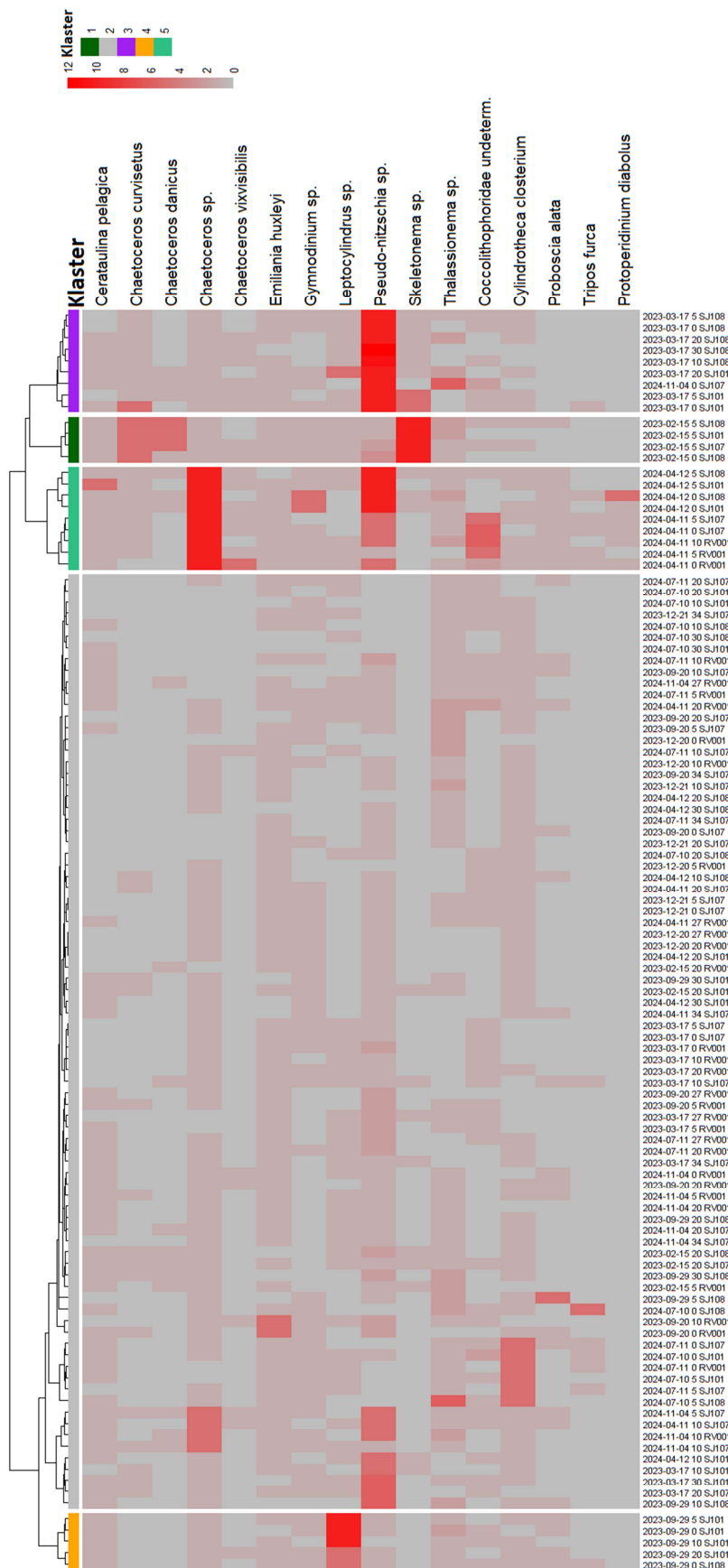
Slika 22. Usporedba broja nađenih svojti u različitim razredima fitoplanktona dvjema metodama: analiza mikrofotografija protočne citometrije sa zapisom pulsa (Pc) i svjetlosna mikroskopija (M).

5.3. Primjena protočne citometrije sa zapisom pulsa (uz mikrofotografiranje) u analizi fitoplanktona na Po transektu 2023. - 2024.

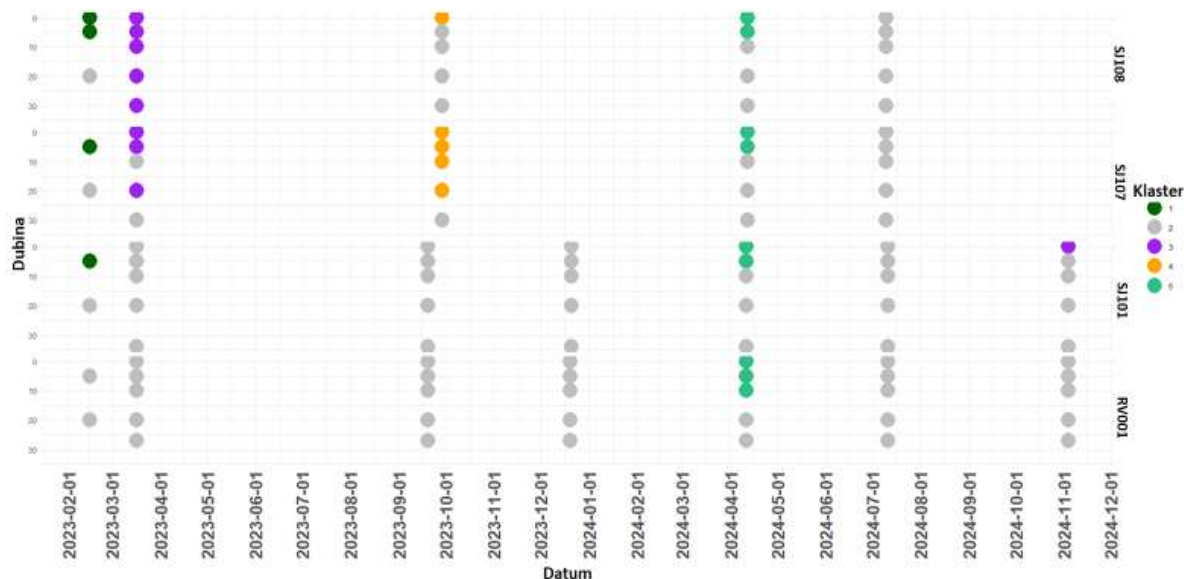
5.3.1. Klaster analiza i raznolikost zajednice

Klaster analiza procijenjenih brojnosti skupina na kolekcijama mikrofotografija dala je 5 dobro definiranih klastera. Klaster 1 karakteriziran je dijatomejama iz roda *Skeletonema*. Klaster 2 je takozvana “osnovna zajednica” koja obuhvaća najveći broj uzoraka, a u kojoj ne prevladava niti jedna svojta. Ipak, u nekim uzorcima su prisutne veće brojnosti rodova poput *Pseudo-nitzschia* i *Chaetoceros*. U tom klasteru nalaze se i uzorci iz srpnja 2024 s većom brojnosti vrste *Cylindrotheca closterium*. U klasteru 2 ni jedna vrsta bitno ne prevladava. Klaster 3 karakteriziran je dijatomejama iz roda *Pseudo-nitzschia*. U travnju 2024. godine uz taj rod bile su prisutne i vrste iz roda *Chaetoceros*. Ta zajednica je dodatno odvojena u klaster 5. Klaster 4

karakteriziran je dijatomejama iz roda *Leptocyldrus* (**Slika 23**). Prostorno vremenska pojavnost ovih klastera vidljiva je na **Slici 24**. Klaster 1 (*Skeletonema* sp.) prevladavao je u veljači 2023. godine. Klaster 3 (*Pseudo-nitzschia* sp.) prevladavao je u ožujku 2023. godine te u studenom 2024. godine. Klaster 4 (*Leptocyldrus* sp.) prevladavao je u rujnu 2023. godine. Klaster 5 (*Chaetoceros* sp.) prevladavao je u travnju 2024. godine. Ovdje je vidljivo da se klasteri karakterizirani skupinama *Skeletonema* sp. te *Pseudo-nitzschia* sp. dobiveni u ovoj analizi dobro slažu s klasterima dobivenim u analizi dugoročnih podataka, dobivenih svjetlosnom mikroskopijom (Poglavlje 5.1.2, **Slika 8**) kao i epizodama cvjetanja mora izazvanih tim svojstama (**Prilog 4**). Također, klaster 5 (*Chaetoceros* sp.) je istovjetni klaster uočen u setu podataka dobivenim analizom uzoraka visoke učestalosti (Poglavlje 5.4.3, **Slika 30**).



Slika 23. Prikaz rezultata hijerarhijskog klasteriranja procijenjenih brojnosti fitoplanktonskih svojti na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa.

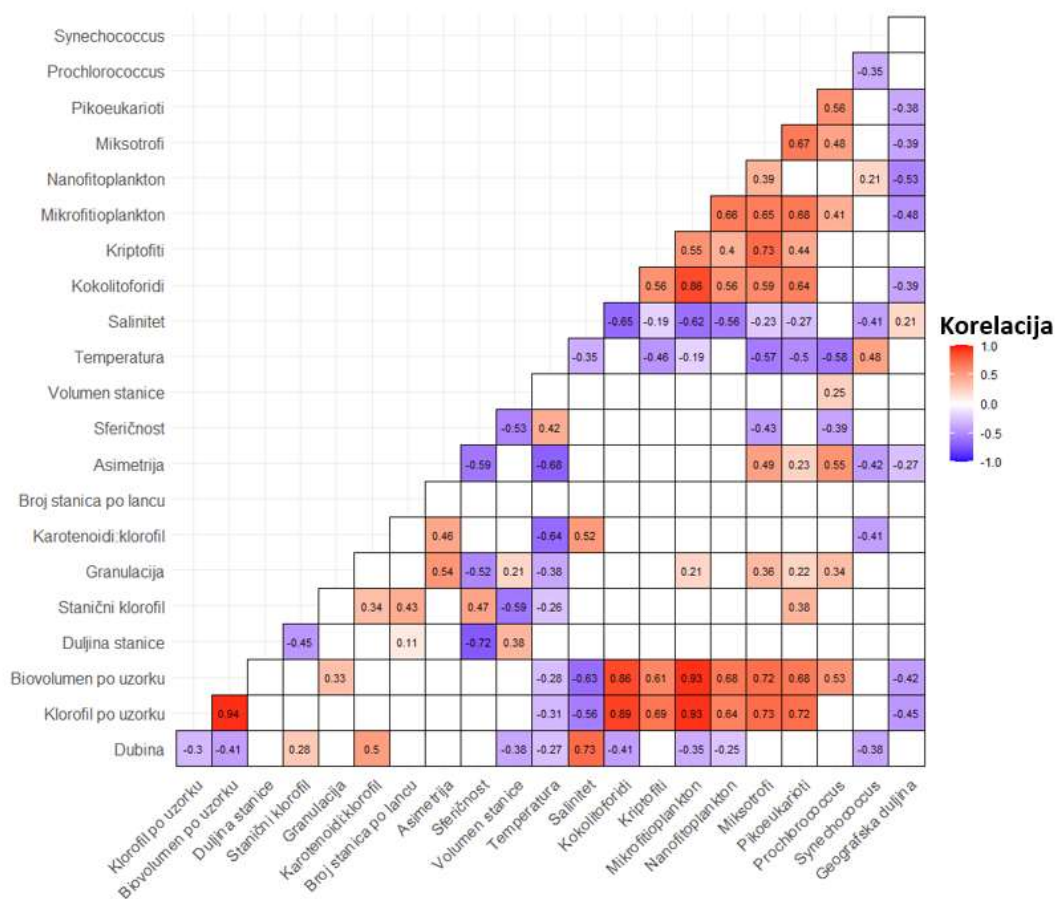


Slika 24. Prikaz svih uzoraka analiziranih na Po transektu 2023. i 2024. te klastera kojima pripadaju.

5.3.2. Utjecaj okolišnih čimbenika na brojnosti funkcionalnih skupina i optička svojstva fitoplanktona

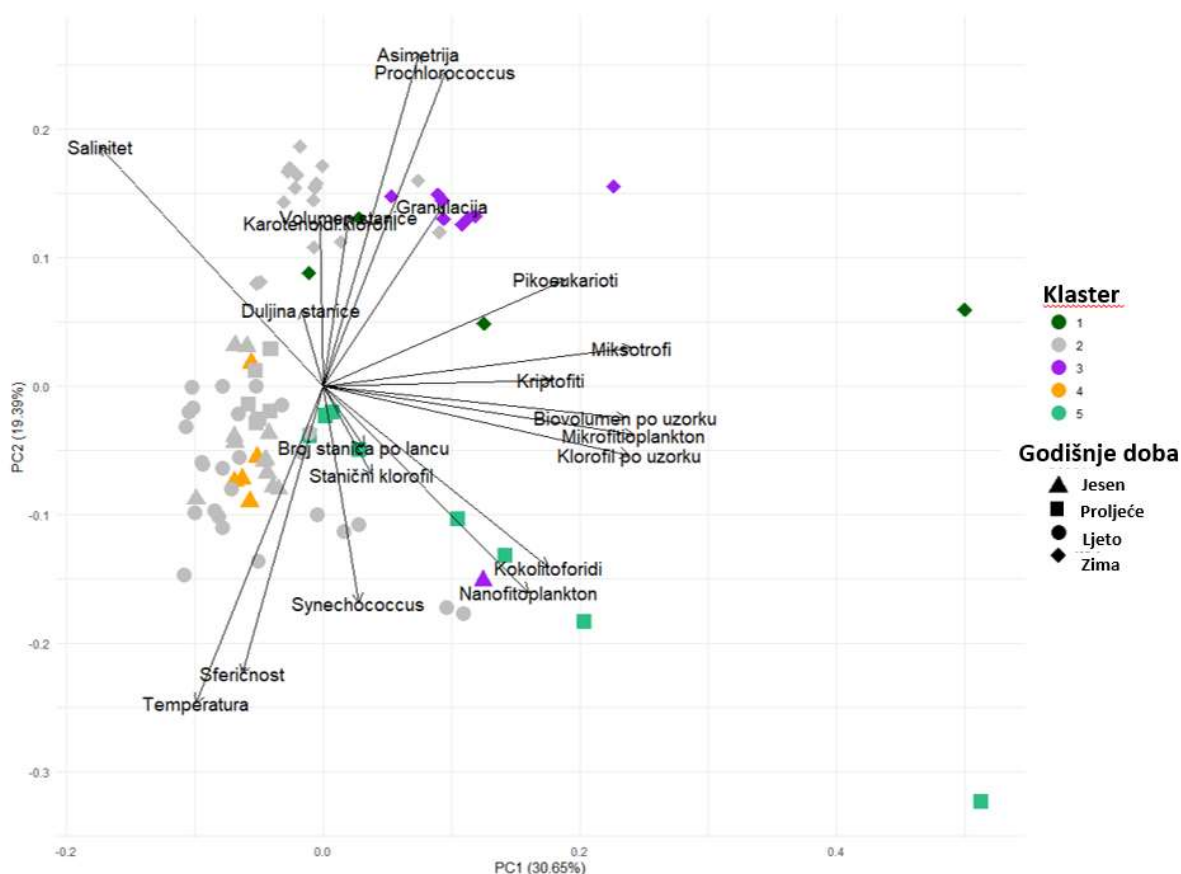
Korelacijska matrica pokazuje da je koncentracija klorofila po uzorku snažno pozitivno korelirana s koncentracijom biovolumena kao i sa određenim funkcionalnim grupama: nanofitoplanktonom, mikrofitoplanktonom, kriptofitima, kokolitoforidima, miksotrofima i pikoeukariotima (**Slika 25**). Drugim riječima, ove skupine najviše doprinose biomasi klorofila u sjevernom Jadranu, a izuzetak su pikocijanobakterije. Većina ovih grupa pokazuju i pozitivne korelacije jedne sa drugima, iznimka je *Synechococcus* koji je pozitivno koreliran samo s nanoplanktonom. Temperatura je negativno korelirana s većinom funkcionalnih grupa, iznimka su nanofitoplankton i kokolitoforidi te *Synechococcus* koji je pozitivno koreliran. Samim time su i koncentracije klorofila i biovolumena također negativno korelirane s temperaturom. Salinitet također pokazuje negativnu korelaciju s većinom funkcionalnih grupa. Negativnu korelaciju s dubinom, odnosno preferenciju prema gornjim slojevima vodenog stupca pokazuju kokolitoforidi, mikrofitoplankton, nanofitoplankton te *Synechococcus*. Većina funkcionalnih skupina pokazuje preferenciju prema zapadnim postajama što je vidljivo iz negativne korelacije sa zemljopisnom duljinom, jedino kriptofiti i pikocijanobakterije nisu pokazale nikakvu korelaciju.

Negativnu korelaciju s temperaturom pokazuju i optička svojstva, odnosno morfološka obilježja stanica poput staničnog klorofila, granulacije i asimetrije te udjela karotenoida spram klorofila. Jedino je sferičnost pokazala pozitivnu korelaciju s temperaturom. Salinitet nije pokazao značajne korelacije s tim obilježjima, iznimka je udio karotenoida spram klorofila koji je pozitivno koreliran. S dubinom su negativno korelirani biomasa (koncentracije biovolumena po uzorku) te abundancije grupa poput kokolitoforida, mikrofitoplanktonom, nanofitoplanktonom te cijanobakterijama *Synechococcus*. Udio klorofila te karotenoida spram klorofila povećava se s dubinom dok stanični biovolumen opada, odnosno pokazuje negativnu korelaciju. Od svih obilježja jedino asimetrija pokazuje preferanciju prema zapadnim postajama (negativna korelacija s zemljopisnom duljinom). Statistički značajni ($p < 0.05$) korelacijski koeficijenti prikazani su na **Slici 25**.



Slika 25. Korelacijska matrica sa statistički značajnim Spearmanovim korelacijama ($p < 0.05$) brojnosti funkcionalnih grupa, morfoloških obilježja i okolišnih čimbenika.

Korelacije su potvrđene analizom glavnih komponenti (PCA analizom). Dodatno, ukoliko se naglase klasteri uzoraka iz prethodne klaster analize, te sezonalnost uzoraka tada je vidljivo da su različite zajednice dobro odvojene u PCA prostoru: klaster 1 (*Skeletonema* sp.) i klaster 3 (*Pseudo-nitzschia* sp.) dolaze u zimskom razdoblju i pozitivno su korelirani sa staničnim biovolumenom, asimetrijom, te prisustvom cijanobakterije *Prochlorococcus* u zajednici. Jesenski uzorci pokazuju povezanost s klasterom 4 (*Leptocylindrus* sp.) te temperaturom, sferičnošću, brojem stanica u lancu te udjelom staničnog klorofila. *Synechococcus* također preferira jesen. Sličnu korelaciju pokazuju i proljetni uzorci, u kojima prevladava klaster 5 (*Chaetoceros* sp.) i nanofitoplankton. Ova grupa uzoraka, slično kao i neki zimski uzorci pokazuje i pozitivnu korelaciju s ostalim funkcionalnim grupama, poput mikrofitoplanktona te koncentracijama biovolumena i klorofila po uzorku. Zanimljivo je da je jedan jesenski uzorak iz klastera 3 sličniji proljetnim uzorcima nego ostalima iz svog klastera, odnosno da taksonomski sastav mikroplanktona nije povezan s ostalim obilježjima te zajednice. Prikaz PCA analize vidljiv je na **Slici 26**.



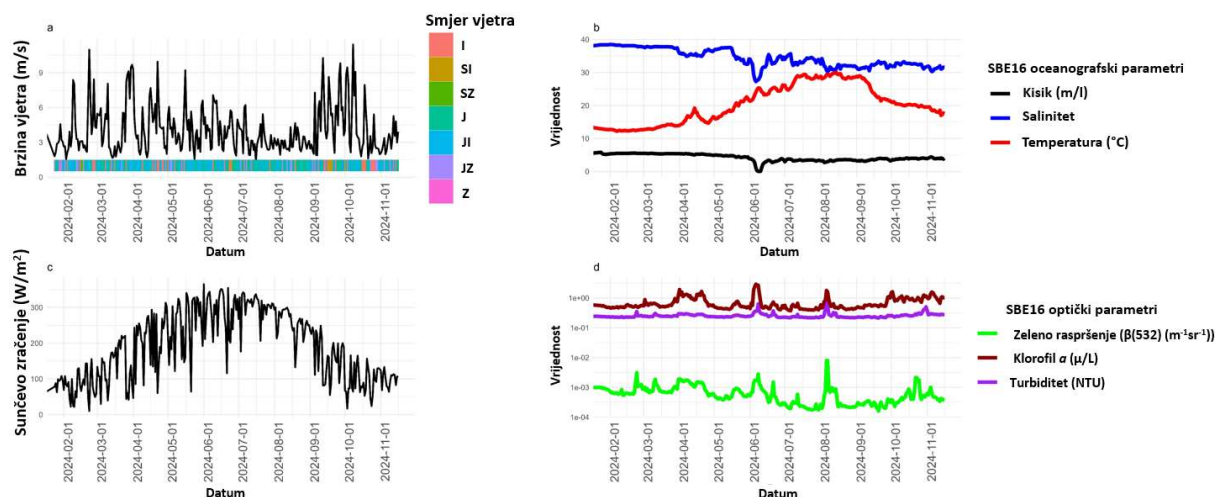
Slika 26. Prikaz rezultata PCA analize brojnosti funkcionalnih grupa, morfoloških obilježja i okolišnih čimbenika.

5.4. *Analiza fitoplanktonske zajednice tijekom fenomena sluzavih nakupina 2024. godine*

5.4.1. *Oceanografski čimbenici*

Oceanografski podaci površinskih mjerenja na oceanografskoj plutači ODAS 1 pokazali su da je prva polovina 2024. godine bila karakterizirana odsutstvom bure, odnosno snažnog sjeveroistočnog vjetera dok su prevladavali južni i jugoistočni vjetar (jugo, **Slika 27a**). Salinitet je početkom godine bio oko 38, a temperatura mora ispod 10 °C. U travnju se dogodio pad saliniteta na 35 praćeno istovremenim naglim porastom temperature (18 °C). Nakon toga događaja temperatura je ponovo pala, a salinitet porastao. Kasnije u travnju temperatura je nastavila rasti dok je salinitet ostao nepromijenjen. U prvoj polovini lipnja dogodio se novi nagli porast temperature na 25 °C dok je salinitet pao ispod 30. Koncentracija otopljenog kisika u tom periodu pokazuje vrlo nagli pad, odnosno događa se hipoksija koja je trajala nekoliko dana. Čak i nakon perioda hipoksije koncentracije otopljenog kisika nisu se vratile na vrijednosti s početka godine. Slično se dogodilo i sa salinitetom gdje vrijednosti nakon naglog pada ostaju oko 35, umjesto 38 kao na početku godine. Kasnije tijekom lipnja temperature ostaju oko 25 °C sve do rasta u srpnju, kada se penju do 28 °C. To zagrijavanje ponovo prati pad saliniteta ispod 35. Zadnji sličan obrazac primijećen je početkom kolovoza kada je salinitet pao do 30 a temperatura mora je porasla na 30 °C. Topli period trajao je do prve polovine rujna. U rujnu pojačavaju vjetrovi (> 6 m/s) nakon relativno mirnog ljeta. Sredinom rujna puhanje bure rashladilo je more na temperature oko 22 °C (usporedi **Sliku 27a** i **27b**). Ukratko, nekoliko događaja naglog porasta temperature bilo je praćeno padom saliniteta što ukazuje na pojavu stratifikacije vodenog stupca (vidi **Slika 27b**).

Optički čimbenici mjereni na plutači pokazuju dva maksimuma u zelenom raspršenju svjetlosti tijekom veljače i ožujka. Tijekom ostatka promatranog perioda moguće je vidjeti da tijekom prije spomenutih događaja naglih porasta temperature i pada saliniteta dolazi do rasta vrijednosti zelenog raspršenja svjetlosti, turbiditeta kao i fluorescencije klorofila. Najviše vrijednosti zabilježene su u lipnju i kolovozu s naknadnim rastom tih vrijednosti i tijekom jeseni (**Slika 27c**).



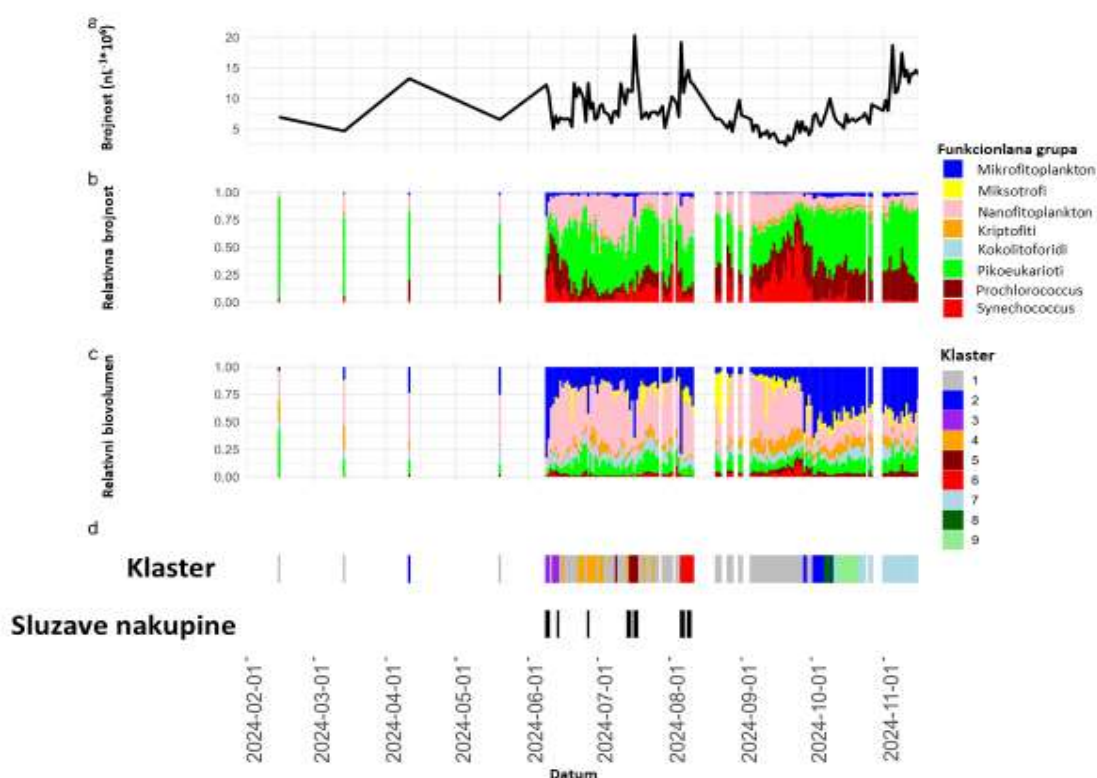
Slika 27. Čimbenici izmjereni pomoću senzora na oceanografskoj plutači ODAS 1 (postaja RV001, dubina mjerenja 2 m). A: Brzina vjetra (linija) i smjer vjetra (pločice) tijekom godine. B: Otopljeni kisik (crna), salinitet (plava) i temperatura (crvena) izmjereni sondom SBE16 na plutači. C: Raspršenje zelene svjetlosti ($\beta(532)$, zeleno), turbiditet (ljubičasto) i klorofil *a* (tamno crveno), izmjereni sondom SBE16 na plutači.

5.4.2. Brojnosti fitoplanktona dobivene protočnom citometrijom sa zapisom pulsa

Ukupne brojnosti pokazale su složenu dinamiku i veliku varijabilnost tijekom godine s nekoliko jasno vidljivih maksimuma. U većini uzoraka brojnosti su varirale između $1 \cdot 10^6$ i $10 \cdot 10^6$ stanica po litri. Periodi cvjetanja mora s vrlo visokim brojnostima fitoplanktona ($> 4 \cdot 10^6$ stanica po litri, **Prilog 9**) odgovaraju glavnim maksimumima vrijednosti optičkih čimbenika mjerenih na plutači, odnosno periodima naglog rasta temperature i pada saliniteta. Tijekom jeseni, osobito u studenom, brojnosti fitoplanktona bile su generalno visoke (**Slika 28a**)

U većini uzoraka prevladavale su stanice iz pikoplanktonske frakcije, *Synechococcus*, *Prochlorococcus* i pikoeukarioti. Veliki udio u zajednici imao je i nanofitoplankton, posebno tijekom ljeta. Nakon ljeta *Prochlorococcus* i pikoeukarioti pokazuju veću važnost. Mikrofitoplankton, odnosno dijatomeje i dinoflagelati pokazali su tri glavna maksimum u brojnosti: početkom lipnja, sredina srpnja i početkom kolovoza. Ova tri vrhunca u brojnosti poklapaju se i s periodima kada su uočene velike sluzave nakupine na mjestu uzorkovanja, a i diljem sjevernog Jadrana. Osim toga, tijekom jeseni je udio mikrofitoplanktona u zajednici bio generalno visok (**Slika 28b**).

Također je vidljivo da nano i pikoplankton (*Synechococcus* i pikoeukarioti) pokazuju veće brojnosti tijekom pojave velikih sluzavih nakupina. Međutim, najviši udio cijanobakterija *Synechococcus* bio je u rujnu (Slika 28b). Zanimljivo je da kada se relativni udjeli koncentracije biovolumena uzmu u obzir da tada mikro i nanofitoplankton pokazuju veliku prevlast nad pikoplanktonom (Slika 28c). Apsolutne brojnosti organizama u pojedinim funkcionalnim grupama prikazane su na Prilog 9.



Slika 28. a: Ukupne brojnosti fitoplanktona ($\text{nL}^{-1} \cdot 10^6$) b: Relativne brojnosti funkcionalnih grupa. c: Relativni biovolumeni po uzorku, d: Klasteri dobiveni iz taksonomskog sastava zajednice i prisutnost sluzavih nakupina na mjestu uzorkovanja.

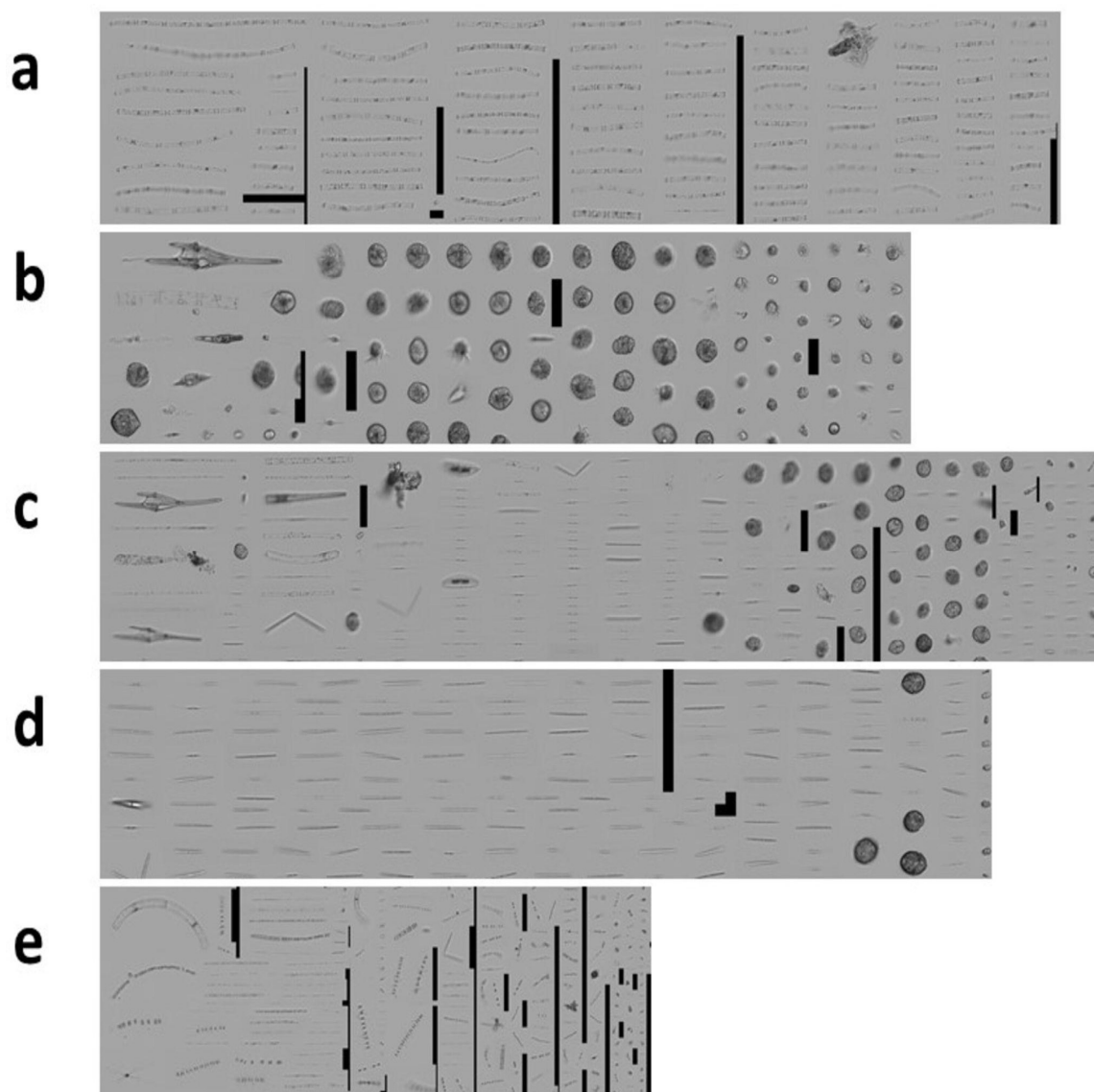
5.4.3. Taksonomski sastav fitoplanktona

Rezultati hijerarhijskog klasteriranja pokazuju da većina uzoraka pripada u klaster koji je takozvana “osnovna zajednica”. Prvi porast brojnosti mikrofitoplanktona bio je u travnju kada su prevladavale vrste iz roda *Chaetoceros* i ostale dijatomeje poput *Pseudo-nitzschia* sp. Početkom lipnja dogodilo se vrlo intenzivno cvjetanje mora izazvano dijatomejom *Cerataulina pelagica* koja je prevladavala na kolekcijama mikrofotografija (**Slika 29a**).

Nakon tog cvjetanja mora prve velike sluzave nakupine viđene su na mjestu uzorkovanja. Sljedećih dana u zajednici su prevladavali dinoflagelat *Gonyaulax fragilis*, ostali veliki dinoflagelati i velike cijanobakterije (**Slika 29b**).

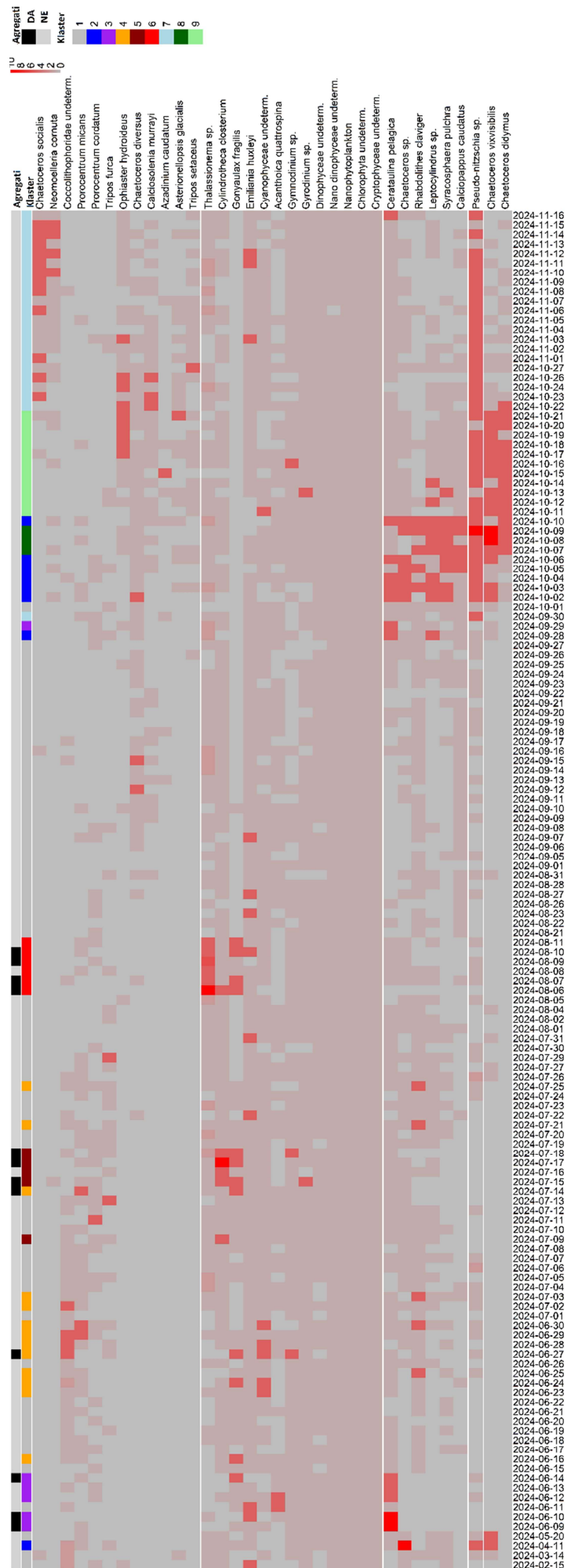
Krajem lipnja drugo masovno pojavljivanje sluzavih pratile su vrste poput *Cylindrotheca closterium*, *Thalassionema* sp. i različiti dinoflagelati (**Slika 29c**). U ranom kolovozu zadnja masovna pojava sluzavih nakupina dogodila se nakon jakog cvjetanja mora uzrokovanog dijatomejom *Thalassionema* sp. (**Slika 29d**). Ostatak ljeta bio je karakteriziran prisustvom “osnovne zajednice” gdje niti jedna skupina nije imala velike brojnosti. Krajem rujna dolazi do pojave velikog broja vrsta dijatomeja u velikim brojnostima (jesensko cvjetanje mora, **Slika 29e**). Jesenske zajednice vrsta su zasebna grupacija u odnosu na ostale uzorke (**Prilog 10**). Ove jesenske zajednice bile su prisutne u uzorcima od kraja rujna do sredine studenog. Glavna karakteristika ovih zajednica je koegzistencija više skupina u velikim brojnostima. Početkom listopada prevladavale su dijatomeje *Chaetoceros* sp. i *Pseudo-nitzschia* sp., slično uzorku iz travnja. Nekoliko dana kasnije malo drugačija zajednica zamijenila je prethodnu: Vrstu *Pseudo-nitzschia* sp. pratile su vrste *Chaetoceros vixvisibilis* and *Chaetoceros didymus* zajedno s kokolitoforidima poput *Syracosphaera pulchra* i *Calciopappus caudatus*. Sredinom listopada kokolitoforidi gube na značaju. U studenom *Pseudo-nitzschia* sp. i dalje je vrlo prisutna dok su od ostalih vrsta najzastupljenije *Chaetoceros socialis* and *Neomoelleria cornuta*.

Dinamika brojnosti svojti prikazane su na **Slici 30** zajedno s klasterima i prikazom pojava sluzavih nakupina.



Slika 29. Kolekcije mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa. **a:** cvjetanje mora izazvano vrstom *Cerataulina pelagica* (09.06.2024), **b:** *Gonyaulax fragilis* i ostali dinoflagelati (27.06.2024), **c:** miješana zajednica svojiti *Cylindrotheca closterium* i dinoflagelata (17.07.2024), **d:** zajednica tijekom cvjetanja mora izazvanog rodnom *Thalassionema* (06.08.2024), **e:** miješana zajednica dijatomeja (08.10.2024.). Slike **a**, **b**, **c** i **d** prikazuju zajednice karakteristične za sluzave nakupine dok slika **d** prikazuje zajednicu koja je prevladavala u jesen 2024. godine.

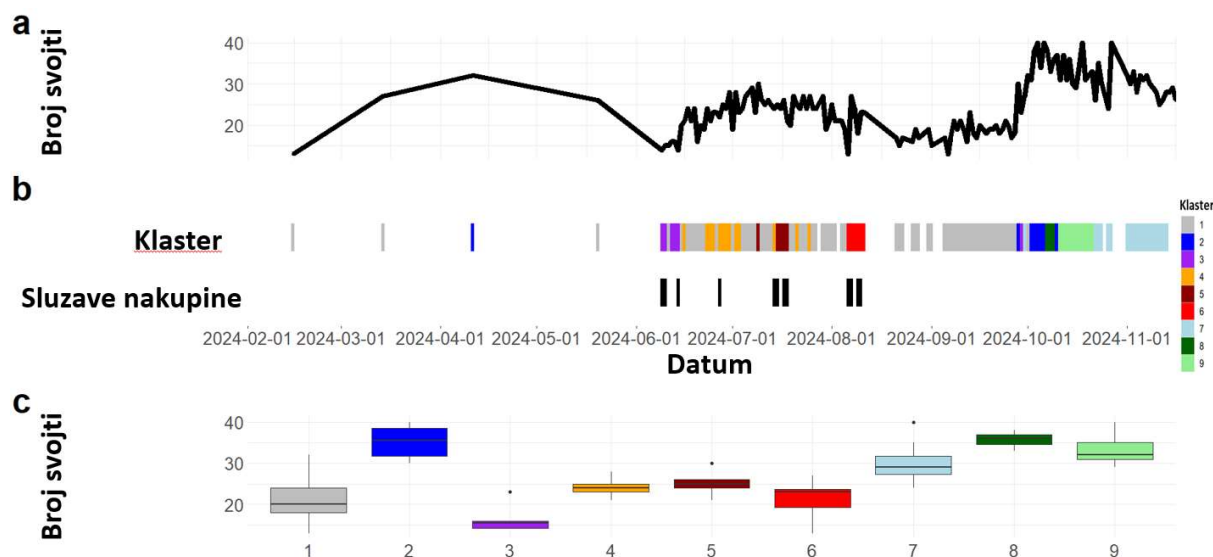
Klasteriranje uzoraka prema procijenjenim brojnostima vrsta na kolekcijama mikrofotografija pokazuje postojanje dviju glavnih grupa uzoraka: klasteri jesenskih uzoraka (klasteri 2, 7, 8 i 9) i ostali poput “osnovne zajednice” (klaster 1) i zajednica povezanih sa sluzavim nakupinama (3, 4, 5 i 6, **Prilog 10**). Konačni klasteri i njihova dinamika u vremenu prikazani su na **Slici 30**.



Slika 30. Prikaz procijenjenih brojnosti fitoplanktonskih svojti. Siva boja označava da vrsta nije bila prisutna, dok nijanse crvene označavaju prisutnost, cvjetanje ili intenzivno cvjetanje određenih svojti. Crne pločice na vrhu označavaju uzorke s vidljivim makroagregatima na mjestu uzorkovanja. Obojene pločice označavaju klastere temeljene na taksonomskom sastavu slika.

Alfa raznolikost (broj svojti u uzorcima) smanjio se tijekom ljeta. Uzorci iz razdoblja pojave velikih sluzavih nakupina također pokazuju manju raznolikost. Tijekom jeseni broj svojti naglo je porastao tijekom jesenskog cvjetanja mora (**Slika 31a**).

Broj svojti bitno je manji u uzorcima povezanim s pojavama sluzavih nakupina nego u jesenskim uzorcima (**Slika 31b i 31a**).



Slika 31. a: broj fitoplanktonskih svojti iz kolekcije mikrofotografija, vremenski niz. b: skupine temeljene na taksonomskom sastavu slika, crne pločice označavaju uzorke s vidljivim makroagregatima na mjestu uzorkovanja. c: broj fitoplanktonskih svojti iz kolekcija mikrofotografija po klasterima.

5.4.4. Morfološke karakteristike fitoplanktona i utjecaj okolišnih čimbenika

Analiza glavnih komponenti (PCA) morfoloških karakteristika fitoplanktona dobivenih protočnom citometrijom sa zapisom pulsa objasnila je 54,95% ukupne varijance. Prva glavna komponenta (PC1) objašnjava 35,19% varijance i povezana je s asimetrijom, duljinom stanica

i granulacijom, dok je druga glavna komponenta (PC2) objašnjava 19,76% varijance i povezana je sa sadržajem klorofila u stanicama, brojem stanica i omjerom karotenoida i klorofila. Morfološke osobine pokazale su da fitoplanktonske zajednice povezane s pojavom sluzavih nakupina (klasteri 4, 5 i 6) imaju tendenciju razvoja debljih stanica sa složenijom ultrastrukturom (granulacija). Stanice su češće izdužene i asimetrične, uz niži sadržaj pigmenata. Također, tijekom ovog razdoblja preferiraju se duge pojedinačne stanice. Zanimljivo je da su osobine povezane s pojavom sluzavih nakupina slične onima koje karakteriziraju „osnovnu zajednicu“, prisutnu između odvojenih događaja. S druge strane, zajednice povezane s cvjetanjima više vrsta (klasteri 2, 3, 7, 8 i 9) karakterizira formiranje lančastih kolonija, visok sadržaj pigmenata i veća zastupljenost sferičnih stanica (**Slika 32a**).

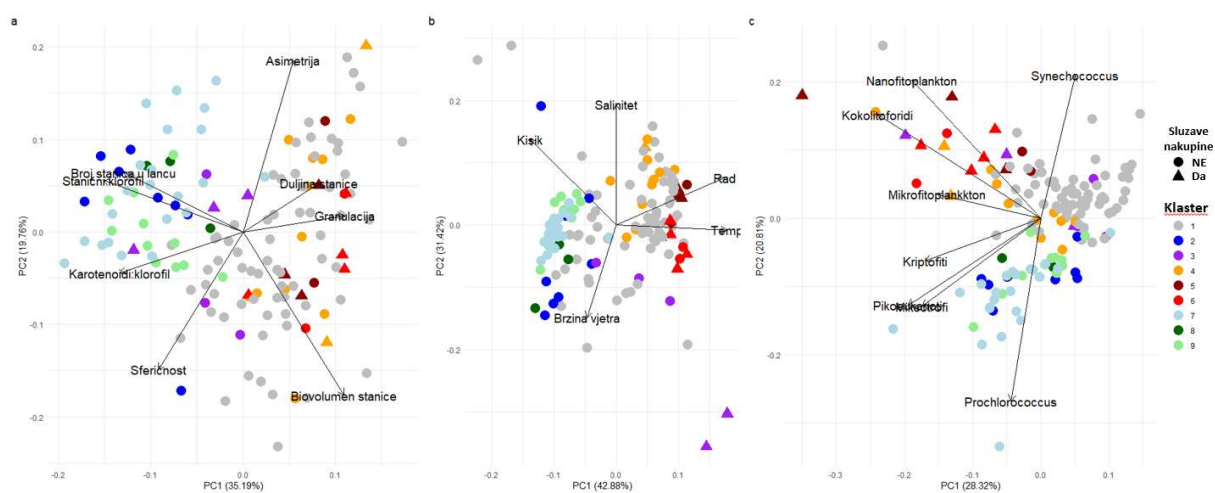
Analiza glavnih komponenti (PCA) okolišnih varijabli objasnila je 72,92% ukupne varijance. Prva glavna komponenta (PC1) objašnjava 42,87% varijance i pod utjecajem je temperature i saliniteta, dok druga glavna komponenta (PC2) objašnjava 30,05% varijance i povezana je s brzinom vjetrova i koncentracijom kisika. Klasteriranje je pokazuje jasni utjecaj okoliša, pri čemu su klasteri 2, 7, 8 i 9 (tamno plavi) povezani s višim razinama kisika i većom brzinom vjetrova. Formiranje sluzavih nakupina (trokuti) uglavnom je bilo povezano s višim temperaturama i salinitetom, dok uzorci bez sluzavih nakupina pokazuju raspršeniju distribuciju unutar PCA prostora (**Slika 32b**).

PCA brojnosti funkcionalnih grupa objasnila je 52,53% ukupne varijance. Prva glavna komponenta (PC1) objašnjava 31,01% varijance i razlikuje grupe na temelju prisutnosti *Prochlorococcus* i *OraNano*, dok je druga glavna komponenta (PC2), koja objašnjava 21,52% varijance, vođena *Prochlorococcus* i *Synechococcus*, odnosno pikocijanobakterijama.

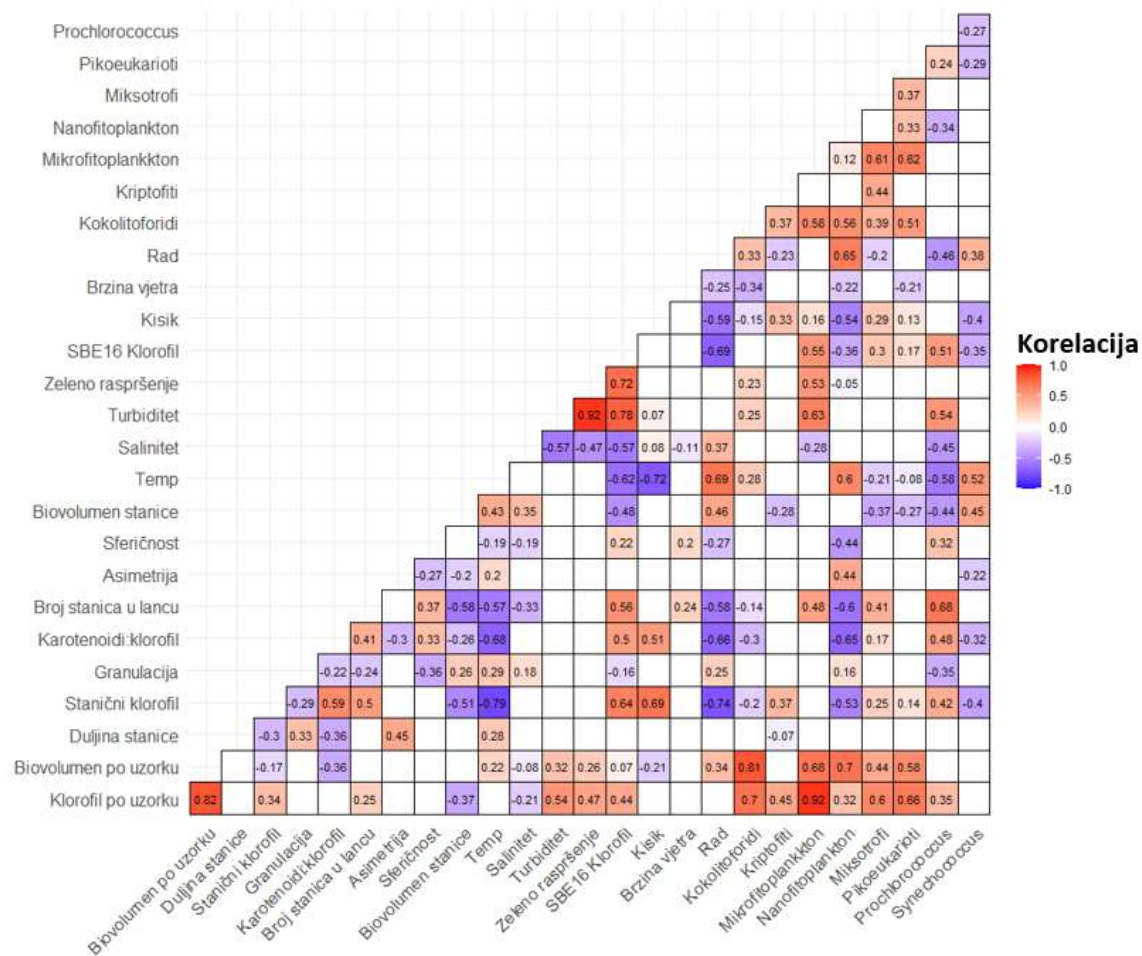
Klasteri 4 i 5 usko su povezani s nanofitoplanktonom te dijatomejama i dinoflagelatima, dok su klasteri 7 i 9 bili više povezani s *Prochlorococcus* i kriptofiti. Taksoni koji formiraju agregate prvenstveno su bili povezani s nanofitoplanktonom te dijatomejama i dinoflagelatima, dok su uzorci bez sluzavih nakupina bili šire raspoređeni unutar PCA prostora.

Zajednice povezane s miješanjem vodenog stupca bile su pozitivno povezane s kriptofitima, piko-eukariotima i miksotrofima. "Osnovna zajednica" u većini je slučajeva bila pozitivno povezana s obiljem *Synechococcus*. Ovi rezultati pokazuju da su mikrofitoplankton (dijatomeje i dinoflagelati) glavni sastavni dio mucilag agregata, unatoč činjenici da su pikocijanobakterije dominantne u ukupnoj fitoplanktonskoj zajednici (**Slika 32c**).

Značajni ($p < 0,05$). Spearmanovi koeficijenti korelacije između morfoloških osobina, okolišnih i drugih čimbenika zabilježenih senzorima te funkcionalnih grupa prikazani su na **Slici 33**.



Slika 32. Prikaz rezultata PCA analize za: **a:** morfološke osobine (NoCC označava broj stanica u lancu), **b:** okolišne čimbenike i **c:** funkcionalne grupe. Boje označavaju klaster temeljene na taksonomskom sastavu slika, dok oblik točaka označava je su li na mjestu uzorkovanja bile vidljive velike sluzave nakupine (trokut) ili nisu (krug).



Slika 33. Spearmanovi koeficijenti korelacije morfoloških osobina, podataka s *in situ* senzora te brojnosti citometrijskih funkcionalnih skupina. Prikazane su samo statistički značajne korelacije ($p < 0.05$).

6. RASPRAVA

6.1. Dugoročne promjene fitoplanktonske zajednice

Sezonske promjene fitoplanktonske zajednice i varijabilnost u ekoloških uvjeta Sjevernog Jadrana rezultirali pojavom ponavljajućih obrazaca u pojavnosti i dinamici fitoplanktonskih vrsta što je rezultiralo grupiranjem uzoraka u klastere. U Prilogu 4. vidljivo je kako klasteri dobro opisuju epizode cvjetanja mora, koje su postale manje učestale i periodične, odnosno cvjetanja mora su postala vrlo sporadična nakon 2013. godine, što nije bio slučaj u prvom desetljeću analiziranog skupa podataka. Slični trendovi smanjenja učestalosti cvjetanja mora zabilježeni su i od drugih (Aubry i sur. 2025; Vascotto, Mozetič, i Francé 2021; Skejić i sur. 2024; Mozetič i sur. 2010). Međutim, vrlo intenzivna cvjetanja mora i dalje su moguća, što je viđeno u lipnju 2024. godine kada je vrsta *Cerataulina pelagica* postigla brojnosti veće od 10 milijuna stanica po litri.

Prethodna istraživanja u kojima je korištena klaster analiza provedena su u Tršćanskom (Vascotto, Mozetič, i Francé 2021) i Venecijanskom zaljevu (Vascotto i sur. 2024). Ono što je glavni rezultat ovakvih analiza jest prostorni i vremenski raspored pojedinih klastera te njihove indikatorske vrste. Ova analiza donosi nove podatke i raspored takvih klastera u središnjem dijelu sjevernog Jadrana. Zimski *Asterionellopsis glacialis* klaster nađen je u ovom istraživanju tijekom 2002., 2005. i 2009. godine. Odgovarajući klaster pronađen je i u Tršćanskom zaljevu tijekom 2009. (Vascotto et al., 2021). U ovom istraživanju pokazan je i potpuni izostanak ovoga klastera nakon 2017 što je u skladu s rezultatima prethodne studije (Vascotto, Mozetič, i Francé 2021). Ljetni *Cerataulina pelagica* klaster zabilježen je u prvim godinama proučavanog razdoblja da bi nakon 2004. godine postao rijedak. Na postaji RV001 primjećen je ponovo u lipnju 2024 godine. Sličan klaster nađen je u Tršćanskom zaljevu 2007. godine (Vascotto et al., 2021) gdje je njegova pojava vjerojatno bila epizodična i lokalna. *Chaetoceros* sp. klaster je još jedan od klastera kojemu se pojavnost bitno smanjila nakon ranih 2000-tih godina. taj klaster je nalažen u Tršćanskom zaljevu sve do 2015. godine, bez jasnog sezonalnog obrasca (Vascotto et al., 2021) dok je u ovom istraživanju gotovo nestao nakon 2007. godine. *Cyclotella* sp. klaster pronađen je kako i u ovom istraživanju, tako i u Tršćanskom te Venecijanskom zaljevu gdje je bio prisutan do 2012. (Vascotto et al., 2021) odnosno 2019. godine (Vascotto et al., 2024).

Pseudo-nitzschia sp. klaster pokazuje nepravilnu dinamiku iako ga se najviše nalazi tijekom kasnog ljeta te tijekom jeseni. Odgovarajuća zajednica pronađena je u Tršćanskom zaljevu gdje

je bila prisutna tijekom jeseni nakon 2010. godine dok u Venecijanskom zaljevu nije pronađena (Vascotto et al., 2021, 2024). *Skeletonema* sp. klaster još je jedan u nizu onih kojima se pojavnost smanjila tijekom promatranog razdoblja, kako u ovome istraživanju tako i u Tršćanskom i Venecijanskom zaljevu (Vascotto et al., 2021, 2024). Ovaj klaster pokazao je tipičnu bimodalnu dinamiku tijekom godine (jesen i kasna zima), s najvećim udjelom tijekom kasne zime. U Venecijanskom zaljevu je ovaj klaster opažen uglavnom u jesenskim mjesecima (Vascotto et al., 2021, 2024). Klaster *Thalassionema nitzschioides* je nova kasna proljetna i ljetna zajednica koja se pojavila nakon 2015. godine. U Venecijanskom zaljevu ovaj klaster također pokazuje sklonost pojavljivanja ljeti, ali bude prisutan i u drugim mjesecima. Ondje je ovaj klaster, za razliku od ovog istraživanja, bio prisutan tijekom cijelog razdoblja istraživanja (Vascotto et al., 2024).

6.1.1. Utjecaj okolišnih čimbenika na zajednicu fitoplanktona

Asterionellopsis glacialis klaster pojavio se u jesenskim i zimskim mjesecima kao što je i očekivano (Aubry i sur. 2012; Godrijan i sur. 2013; Cerino i sur. 2019). Indeksi raznolikosti pokazuju da je taj klaster raznolik i da pokazuje ravnomjernu distribuciju vrsta. *A. glacialis* klaster povezan je s kraćom duljinom dana, nižim koncentracijama hranjivih soli te višim temperaturama, što je u suprotnosti s dosadašnjim tvrdnjama da ova vrsta preferira hladnija mora (Aubry i sur. 2012; Godrijan i sur. 2013; Cerino i sur. 2019). U ovom klasteru, koji je bio prisutan ranih 2000-ih pokazuje da je došlo do zamjene dominantnih vrsta s koegzistirajućim vrstama.

Cerataulina pelagica je prethodno okarakterizirana kao tipična ljetna vrsta u sjevernom Jadranu u razdoblju od 1999 - 2001 (Aubry i sur. 2006). To je potvrđeno u ovome radu gdje je *C. pelagica* klaster pozitivno povezan s temperaturom i fotoperiodom, u smislu duljih dana. Smanjenje pojavnosti ovog klastera može se dovesti u vezu sa smanjenjem pojavnosti sluzavih makroagregata, tipične pojave za sjeverni Jadran, koji su bili prisutni od 2000. - 2004. godine (Totti i sur. 2019; De Lazzari i sur. 2008; Najdek i sur. 2005). Ova vrsta jedna je od tipičnih vrsta nađenih u sluzavim nakupinama (Totti i sur. 2019), a cvjetanje mora izazvano ovom vrstom povezano je s pojavom makroagregata (Socal i sur. 2008). U ovom klasteru pronađene su i druge vrste povezane s makroagregatima poput *Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia* sp. i *Dactyliosolen fragilissimus* (Najdek i sur. 2005; Revelante i Gilmartin 1991; Totti i sur.

2005). Mogući razlozi izostanaka pojave makroagregata i zajednice nakon 2004. godine su promjene u okolišu poput smanjenja intenziteta padalina te antropogeni utjecaji (smanjenje dotoka hranjivih soli, De Lazzari i sur. 2008; Totti i sur. 2019). Osim toga za inicijaciju i održavanje ove pojave potrebni su i uvjeti mirnog vremena te snažna stratifikacija vodenog stupca (De Lazzari i sur. 2008; Precali i sur. 2005; Russo i sur. 2005). Zanimljivo je kako je u ovome klasteru nađen manji broj vrsta i općenito niži indeksi raznolikosti. Uloga vrste *C. pelagica* kao i detaljniji uvid u pojavu i fitoplanktonsku zajednicu makroagregata bit će diskutirane u poglavlju 6.4 gdje je metodama uzorkovanja visoke učestalosti istražena pojava makroagregata u 2024. godini.

Chaetoceros socialis je u prethodnim studijama opisan kao jesenska vrsta u sjevernom Jadranu (Bosak, Godrijan, i Šilović 2016; Godrijan i sur. 2013; Totti i sur. 2005; Cerino i sur. 2019). U ovome radu pokazana je snažna povezanost prisustva ovog klastera s visokim salinitetom što je i očekivano prema prethodnim studijama (Bosak, Godrijan, i Šilović 2016). Pojavnost ove zajednice u kasnijim godinama promatranog razdoblja može stoga biti povezano s rastom saliniteta u Jadranu (Mihanović i sur. 2021; Vilibić, Šepić, i Proust 2013). Jesenska pojava može se dovesti u vezu s negativnom povezanosti s duljinom dana što je vidljivo iz CCA analize. Isto tako, ovaj je klaster povezan i s višim temperaturama te nižim koncentracijama hranjivih soli što su tipični jesenski uvjeti prije nego dođe do prestanka stratifikacije i miješanja vodenog stupca (Ivančić i Degobbi 1987). Ovaj klaster pokazuje najveću raznolikost u smislu broja vrsta i relativno visoke ostale indekse raznolikosti (H' i D). To ukazuje na to da u ovome klasteru prevladavaju vrste koje preferiraju koegzistenciju umjesto kompeticije.

Chaetoceros sp. klaster pokazao je blagu negativnu povezanost koncentracijama hranjivih soli i blagu pozitivnu s temperaturom u CCA prostoru. Slični rezultati viđeni su u Tršćanskom zaljevu iako je ondje *Chaetoceros* sp. okarakteriziran kao proljetna skupina (Cerino i sur. 2019). Problem ove skupine diatomeja je u tome što je teško razlikovati vrste, kojih ima preko 100 (Bosak 2013), korištenjem svjetlosne mikroskopije. Zbog toga je vrlo vjerojatno da se ovdje radi o zajednici od više vrsta. Međutim, interpretacija rezultata moguća je unatoč tome jer vrste iz roda *Chaetoceros* često dolaze zajedno u visokim brojnostima budući da se stanice razvijaju iz trajnih stadija (spora) tijekom miješanja vodenog stupca (Bosak, Godrijan, i Šilović 2016; Montresor i sur. 2013). Indeksi raznolikosti pokazuju da ovaj klaster prikazuje raznoliku zajednicu gdje često budu prisutne i vrste iz drugih rodova.

Cyclotella sp. klaster pokazao je pozitivnu povezanost s temperaturom i duljinom dana. Osim toga, ovaj klaster pokazuje očekivane oligotrofne preferencije (vjerojatno zbog male veličine stanica, Vilicic i sur. 2007) i očekivanu pozitivnu povezanost s koncentracijama amonijevih iona (Ninčević-Gladan i sur. 2015). *Cyclotella* sp. je mala dijatomeja koja može učinkovito iskorištavati hranjive soli u toplim mjesecima (Vascotto i sur. 2024) što objašnjava pojavnost ovog klastera. Za ovaj je rod potrebno i dodatno naglasiti da je vrlo raznolik, s više od 100 vrsta (Lee i sur. 2022) i brojnim kriptičkim vrstama (Beszteri, John, i Medlin 2007). Klaster karakteriziran rodом *Pseudo-nitzschia* također je smanjio pojavnost u drugom dijelu promatranog razdoblja. Ovaj rod potencijalno toksičnih dijatomeja je bitan dio fitoplanktonske zajednice u sjevernom Jadranu (Viličić i sur. 2009; Marić i sur. 2012). Izostanak sezonalnosti ovog klastera u rezultatima u skladu je s čestom pojavom cvjetanja mora izazvanom ovim rodом. Baš kao i za *Chaetoceros* sp. i za ovaj rod je tipična teška identifikacija do razine vrste pomoću svjetlosne mikroskopije. Tako se i u ovom slučaju može govoriti o više vrsta koje doprinose ovom klasteru. Vrste iz roda *Pseudo-nitzschia* najveće brojnosti dostižu u jesen, iako su moguća sporadična cvjetanja mora tijekom proljeća i ljeta, a tipične su i velike varijacije tijekom godina (Turk Dermastia i sur. 2020). Smanjenje i fluktuacije u pojavnosti ovoga klastera mogu se povezati s neredovitim dotokom hranjivih soli koje vrste iz ovoga roda oportunistički iskorištavaju (Ljubešić i sur. 2011). Zbog toga su u ovom klasteru visoki indeksi raznolikosti, kao i slaba povezanost s okolišnim čimbenicima, jer različite vrste imaju različite potrebe.

Skeletonema sp. klaster pokazao je bimodalnu sezonalnost tijekom godine. Ovo je u skladu sa raznolikosti vrsta unutar ovog roda. U sjevernom Jadranu najraširenije su dvije vrste: *S. marinoi* i *S. grevillei*. *S. grevillei* zabilježena je nakon 2018. godine iako je vjerojatno bila prisutna i ranije. Moguće je da je ova vrsta unešena putem balastnih voda iz mora u okolini Kine (Marić Pfannkuchen i sur. 2018). Ove dvije vrste teško se razlikuju pomoću svjetlosne mikroskopije ali poznato je da dolaze u različitim sezonama. *S. marinoi* je kasna zimska i rana proljetna vrsta dok je *S. grevillei* kasna jesenska vrsta (Marić Pfannkuchen i sur. 2018) što objašnjava sezonalnost ovog klastera. *S. marinoi* preferira zapadne postaje s većom količinom hranjivih soli i većim antropogenim utjecajem. Na zapadnim postajama pokazuje redovito veće brojnosti dok je na istoku pojavnost ove vrste više sporadična. S druge strane, *S. grevillei* češće bude nađena u lukama i istočnom dijelu sjevernog Jadrana. Nakon 2011. godine pojavnost ovog klastera se smanjila, baš kao i učestalost te intenzitet cvjetanja ovog roda. Zapadne postaje su i pod velikim utjecajem padalinama u Alpama, nakon čega bude veliki donos hranjivih soli

putem rijeka. Smanjeni donos hranjivih soli (Grilli i sur. 2020) mogao bi biti uzrokom smanjenja učestalosti cvjetanja ovog roda. Smanjenje učestalosti cvjetanja ovog roda zabilježeno je i u drugim relevantnim studijama (Daniela Marić i sur. 2012; Viličić i sur. 2009; Aubry i sur. 2021; Cabrini i sur. 2012). Za *Skeletonema* sp. klaster zabilježeni su i najmanji indeksi raznolikosti (H' , D , J) što ukazuje na dominaciju jedne skupine. Ovaj klaster jedini je u ovome radu koji je pokazao snažnu povezanost s koncentracijama hranjivih soli te negativnu s temperaturom. Ovime je potvrđena preferencija ovog roda za hladnija mora (Casabianca i sur. 2022; Marić Pfannkuchen i sur. 2018; Cerino i sur. 2019). Unatoč snažnom dotoku hranjivih soli putem rijeke, Jadransko more primjer je fosforom limitiranog mora (Cozzi i Giani 2011) gdje molarni omjeri dušika i fosfora prelaze 16 (A. C. Redfield, Ketchum, i Richards 1963). Brojne vrste fitoplanktona mogu preživjeti u takvim uvjetima budući da pomoću enzima alkalne fosfataze mogu koristiti fosfor iz organskih izvora (Ivančić i sur. 2012, 2016). U ovome radu vidljivo je da su brojni uzorci nađeni u uvjetima limitacije fosforom. Međutim, jedino u slučaju *Skeletonema* sp. klastera značajan broj uzoraka je nađen u uvjetima limitacije fosforom. Ovaj rod sposoban je eksprimirati alkalnu fosfatazu na površini stanice i postići visoke brojnosti konzumiranjem organskog fosfora (Ivančić i sur. 2016). Također, ovaj se rod može uspješno braniti od predacije i uzrokovati cvjetanja pod predacijskim pritiskom tako da postiže više brojnosti u prisustvu zooplanktona (Smodlaka Tanković, Baričević, Perusco, i sur. 2018), a proizvode i spojeve poput aldehida kojima se brane od predacije (Vidoudez i Pohnert 2008).

Thalassionema nitzschioides klaster je pozitivno povezan s temperaturom i duljinom dana, a negativno s koncentracijom hranjivih soli i salinitetom. To je u skladu s preferencijama ove vrste u sjevernom Jadranu (Casabianca i sur. 2022). Ovo je tipičan rani ljetni klaster koji se javlja u uvjetima ranog stratificiranja vodenog stupca kada je nizak površinski salinitet i dostupnost hranjivih soli što očito pogoduje pojavnosti ovog klastera. Zbog toga je moguće da je pojavljivanje ovog klastera u kasnijem dijelu promatranog razdoblja povezano sa smanjenom dostupnosti hranjivih soli što je dokumentirano u drugim studijama (Mozetič i sur. 2010; Cerino i sur. 2019) i modelima (Mentaschi i sur. 2024). Ovaj trend vjerojatno je posljedica smanjenog i sporadičnog dotoka slatke vode putem rijeke Po (Cozzi i sur. 2019). U takvim uvjetima raznolikost vrsta može biti veća jer vrste odabiru strategiju koegzistencije umjesto kompeticije što je vidljivo iz indeksa raznolikosti. Povezanost ovog klastera s duljinom dana ukazuje na to da je fotoperiod jedan od glavnih čimbenika koji određuju sezonalnost fitoplanktonske zajednice (Longobardi i sur. 2022).

Većina klastera se pojavljivala na zapadnim postajama, bliže delti rijeke Po. Ti su klasteri karakterizirani višim abundancijama fitoplanktona kao i većom općenitom učestalošću pojavljivanja. Ova opažanja dodatno potvrđuju važnost rijeke Po u oblikovanju i utjecaju na ekosustav sjevernog Jadrana. Klasteri *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros sp.* i *Cyclotella sp.* su pak češće uočavani na istočnoj obali sjevernog Jadrana što je u skladu s njihovim oligotrofnim preferencijama. Također, ovo može ukazivati i na njihovu vezu s intruzijom voda iz južnog Jadrana duž istočne obale.

6.1.2. Stabilnost obrazaca u prostoru i vremenu

Omjer broja uzoraka pridruženih određenom klasteru i onih koji nisu svrstani u klastere pokazuje razlike u prostoru i vremenu. Općenito, više uzoraka pripada određenom klasteru na zapadnim postajama, bliže ušću rijeke Po i posljedično pod većim utjecajem slatke vode i unosa hranjivih soli. Udio uzoraka koji pripadaju nekom klasteru smanjuje se tijekom vremena što ukazuje na smanjenje predvidljivosti fitoplanktonske zajednice. Ovo smanjenje predvidljivosti uočeno je i u drugim istraživanjima u Jadranu (Vascotto, Mozetič, i Francé 2021; Vascotto i sur. 2024; Skejić i sur. 2024). Dodatno je vidljivo kako predvidljivost zajednice raste prema zapadu što dodatno naglašava važnost utjecaja slatke vode u oblikovanju i stabiliziranju predvidljivosti fitoplanktonske zajednice. Istočni dio sjevernog Jadrana je pod jačim utjecajem oligotrofnih voda pa je stabilnost zajednice manja. Svi ovi rezultati pokazuju da fitoplanktonska zajednica u sjevernom Jadranu pokazuje relativno stabilne obrasce koji se odražavaju kao pojavnost klastera uzoraka. Međutim, stabilnost tih obrazaca je promjenjiva bilo u prostoru (smanjuje se prema istoku) ili vremenu (smanjuje se tijekom opažanog razdoblja).

Promjena u stabilnosti zajednice odražava se i u promjeni strategija u preživljavanju pojedinih skupina pretpostavljenih iz indeksa raznolikosti. Zajednice karakterizirane vrstama *Chaetoceros socialis* i *Thalassionema nitzschioides* pokazuju znakove postojanja koegzistirajućih vrsta dok one karakterizirane vrstama *Skeletonema sp.* i *Cerataulina pelagica* pokazuju težnju prema dominaciji jedne vrste u zajednici. Tako je vidljivo da su zajednice u kojima dominira jedna vrsta zamijenjene onima gdje postoji koegzistencija što može biti rezultat prilagodbe zajednice na manje stabilne uvjete u okolišu. U uvjetima veće dostupnosti hranjivih soli i drugih resursa može se pretpostaviti i veća kompeticija za njih što dovodi do dominacije malog broja vrsta. U oligotrofnim uvjetima vrste su orijentirane na preživljavanje tih uvjeta zbog čega veći broj vrsta bude prisutan, ali u malim brojnostima. Suživot vrsta ovisi

o mehanizmima koji stabiliziraju zajednicu, poput podjele resursa i predacije koja ovisi o brojnosti, ali i o mehanizmima koji izjednačavaju razlike u uspješnosti vrsta, čime zajednički oblikuju dinamiku bioraznolikosti (Chesson 2000).

Redovita limitacija fosforom u sjevernom Jadranu je važan čimbenik u oblikovanju fitoplanktonske zajednice u tom području (Fuks i sur. 2012; Ivančić i sur. 2016, 2012). Ipak, globalni i regionalni trendovi koji dodatno narušavaju ravnotežu u dostupnosti hranjivih soli (Zhang i sur. 2022) mogli bi dovesti do daljnje destabilizacije planktonskih hranidbenih mreža i slabljenja stabilnih klastera unutar fitoplanktonskih zajednica. Analiza dinamike fitoplanktona temeljena na metodama klasteriranja nudi vrijedan uvid u stabilnost morskih planktonskih ekosustava, što je jedno od ključnih obilježja zdravlja ekosustava.

6.2. *Usporedba protočne citometrije sa zapisom pulsa i svjetlosne mikroskopije*

Usporedbom brojnosti funkcionalnih grupa dobivenih svjetlosnom mikroskopijom i protočnom citometrijom sa zapisom pulsa vidljivo je da protočna citometrija nalazi više organizama u nanofitoplanktonskoj veličinskoj frakciji, za razliku od mikroplanktonske zajednice gdje primjenom svjetlosne mikroskopije bude detektirano više organizama. Razlog tome je što formaldehid, korišten kao sredstvo za fiksaciju pri analizi svjetlosnom mikroskopijom, nepovoljno djeluje na manje stanice poput flagelata koje se raspadnu prije nego što budu fiksirane. Osim toga, formaldehid uzrokuje i deformaciju stanica zbog čega ih nije moguće lako determinirati (Bloem, Bär-Gilissen, i Cappenberg 1986; Porter i sur. 1985). Deformacija i uništavanje stanica primijećeno je i kod kriptofita (Booth 1988; Klaveness 1989), što objašnjava njihove manje brojnosti uočene metodom svjetlosne mikroskopije nego metodom protočne citometrije. Štoviše, formaldehid, kao i Lugolova otopina štetno djeluju i na veće organizme poput dijatomeja u višim koncentracijama tako što uzrokuju deformaciju stanica, fragmentaciju lanaca i osmotski stres (Mukherjee i sur. 2014). Isto tako, ponekad je na svjetlosnom mikroskopu vrlo teško razlikovati manje mikroorganizme od čestica sedimenta, što je vrlo lako kod protočne citometrije budući da upravo zbog toga koristi FLR signal kao prag za njihovu detekciju. Općenito, iz ovih rezultata vidljivo je kako je protočna citometrija vrlo prikladna metoda za praćenje dinamike nanofitoplanktona budući da ima veću sposobnost detekcije tih organizama. U slučaju kokolitoforida potrebno je naglasiti kako je prilikom ove usporedbe pretpostavljeno da su oni istovjetni HighSWSNano funkcionalnoj grupi prema standardnom rječniku i njegovim uputama za prepoznavanje tih grupa (Thyssen i sur. 2022). Međutim,

tijekom analize je uočeno da su kokolitoforidi teško razlučivi od organizama sa sličnim omjerom SWS : FWS signala pa tako u tu funkcionalnu grupu mogu pripadati i druge grupe poput nekih dinoflagelata i trajnih stadija dijatomeja, poput onih iz roda *Chaetoceros*.

Mikrofitoplankton su veći organizmi koji obično dolaze u manjim brojnostima. Određivanje njihove brojnosti je stoga vrlo izazovno jer ih je teško detektirati u dovoljnom broju za kvalitetniju procjenu brojnosti. Međutim, protočna citometrija sa zapisom pulsa razvijena je upravo kako bi mogla analizirati veće volumene i veće stanice (G. B. Dubelaar i sur. 1999). Dodatan problem su i kolonije jer ih klasični protočni citometri detektiraju kao jedan entitet (Peperzak i sur. 2020; Zhou i sur. 2012). Međutim, u ovome radu korištena je varijabla “FWS Number of Cells” koja je izvedena iz zapisa pulsa i koja daje prosječan broj stanica u lancu. Zbog toga su nađene više brojnosti mikrofitoplanktona metodom protočne citometrije sa zapisom pulsa umjesto očekivanog manjeg broja (Peperzak i sur. 2020). Velika je prednost svjetlosne mikroskopije i u tome da ta metoda i dalje pruža najdetaljnije informacije o taksonomskom sastavu zajednice, što je naglašeno i u ranijem istraživanju (Peperzak i sur. 2020), kao i o brojnosti pojedinih svojti. Usporedbom ukupnih brojnosti fitoplanktona (nano i mikro frakcija) dobiva se linearni odnos što ukazuje na to da objema metodama mogu biti uspješno opisani trendovi u brojnosti fitoplanktona. Sličan rezultat, odnosno linearan odnos dobiven je i u ranijem istraživanju (Rutten, Sandee, i Hofman 2005).

Osim brojnosti, obje metode daju i podatke o taksonomskom sastavu zajednice. Iako funkcionalne grupe dobivene protočnom citometrijom ne odražavaju nužno taksonomski sastav ipak određene taksonomske skupine posjeduju karakteristična optička svojstva zbog kojih lako mogu biti identificirane (Thyssen i sur. 2022; Trask, van den Engh, i Elgershuizen 1982; Seppälä 2022). Detaljnije podatke o raznolikosti moguće je dobiti ukoliko se promatraju morfološka obilježja ovih organizama. U slučaju svjetlosne mikroskopije moguće je dobiti podatke i o taksonomskoj pripadnosti organizama, kao i o brojnosti svake pojedine svojte. Iako je kod protočne citometrije sa zapisom pulsa moguće dobiti samo podatke o brojnosti organizama unutar pojedine funkcionalne grupe, kod ovog instrumenta postoji i mogućnost snimanja velikog broja mikrofotografija. Iz kolekcije mikrofotografija moguće je dobiti vrlo detaljan uvid u samu raznolikost, bez podataka o brojnosti pojedinih svojti. Zbog toga su u ovome radu uspoređeni podaci o raznolikosti dobiveni objema metodama. Brojevi svojti na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa redovito su manji od onih dobivenih svjetlosnom mikroskopijom (**Slika 18**). Glavni razlog za to su manji analizirani volumeni koji budu u rasponu od nekoliko mililitara, za razliku od svjetlosne mikroskopije gdje analizirani volumeni budu većinom 50 ml, ponekad manji, ali i dalje bitno veći nego kod

protočne citometrije. Međutim, kao i u slučaju ukupnih brojnosti, brojevi svojti dobiveni objema metodama u linearnom su odnosu što znači da obje metode uspješno otkrivaju trendove u raznolikosti fitoplanktonske zajednice. Kako bi se provjerila učinkovitost obje metode korištena je i usporedba krivulja rarefakcije. Rarefakcija prikazuje stopu nalaženja novih svojti s povećanjem napora uzorkovanja, odnosno s povećanjem broja uzoraka. Kod učinkovitih metoda uzorkovanja očekuje se nagli porast broja novih svojti s povećanjem broja uzoraka, a ukoliko krivulja bude horizontalno izravnata tada se smatra kako je pomoću te metode kompletno opisana raznolikost, budući da s daljnjim naporom ne budu nađene nove svojte (Sanders 1968). U ovome radu je vidljivo kako obje metode uspješno mogu opisati raznolikost, unatoč činjenici da svjetlosna mikroskopija nalazi veći broj svojti. Osim deskriptivne analize krivulja, ta sličnost u učinkovitosti potvrđena je i koeficijentima iz Arrheniusova modela izrađenog na temelju podataka o raznolikosti (Dengler 2009).

Obje metode uspješno detektiraju velik broj dijatomeja, dinoflagelata i kokolitoforida. Ipak, svjetlosna mikroskopija otkriva veći broj vrsta dijatomeja i dinoflagelata u usporedbi s kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa. Glavni razlog ove razlike leži u znatno većem analiziranom volumenu kod svjetlosne mikroskopije, što povećava vjerojatnost detekcije rijetkih vrsta. S druge strane, kod kokolitoforida i drugih skupina rezultati su slični za obje metode, što može upućivati na njihovu veću zastupljenost i ujednačeniju distribuciju u uzorku. Nerazvrstani nanofitoplankton detektiran je isključivo pomoću protočnog citometra sa zapisom pulsa (**Slika 22**), jer ovaj instrument omogućuje detekciju brojnih sitnih organizama s FLR signalom, koji su izvan dosega razlučivosti klasične svjetlosne mikroskopije

Usporedba korištenih metoda otkriva jasne razlike u njihovoj osjetljivosti i specifičnosti prema taksonima različitih brojnosti. I svjetlosna mikroskopija i protočna citometrija s sa zapisom pulsa učinkovito su detektirale dominantne taksone prisutne u visokim abundancijama, poput *Pseudo-nitzschia* sp., *Chaetoceros wighamii*, *Skeletonema* sp., kriptofita i nekoliko drugih (**Prilog 6**). Ovo preklapanje ukazuje na to da su obje metode pouzdane za identifikaciju najzastupljenijih komponenti fitoplanktonske zajednice u sjevernom Jadranu (Godrijan i sur. 2013; Marić i sur. 2012; Aubry i sur. 2006). Međutim, svjetlosna mikroskopija pokazala se učinkovitijom u detekciji rjeđih svojti, uključujući *Oscillatoria* sp., *Prorocentrum vaginula* i drugih navedenih u **Prilogu 7**. Ovi organizmi mogli su biti nedovoljno zastupljeni u podacima dobivenima protočnom citometrijom zbog niske koncentracije stanica. Nasuprot tome, mali broj svojti detektiran je isključivo na mikrofotografijama iz protočnog citometra sa zapisom

pulsa. Među njima su *Azadinium caudatum*, *Cochlodinium* sp., neidentificirane cijanobakterije te ranije spomenuti neidentificirani nanofitoplankton (**Prilog 8**). Posebno su posljednje dvije skupine bile lako prepoznatljive zahvaljujući svojim karakterističnim fluorescentnim signalima, što ukazuje na dodatnu vrijednost protočne citometrije u detekciji malih ili morfološki teško prepoznatljivih stanica koje pokazuju specifična optička svojstva.

U ranijim istraživanjima učinkovitost protočne citometrije već je uspoređivana s podacima dobivenima zapisom pulsa i svjetlosnom mikroskopijom. Te su usporedbe uglavnom bile usmjerene na procjenu ukupne brojnosti organizama i sposobnost njihove detekcije (Rutten, Sandee, i Hofman 2005; Kraft i sur. 2025; Jang i sur. 2018.) U ovom se radu po prvi puta nastoji usporediti brojnost funkcionalnih skupina dobivenih protočnim citometrom s brojnošću odgovarajućih organizama utvrđenih svjetlosnom mikroskopijom. Osim toga, u ovom je istraživanju po prvi put primijenjena i tehnika rarefakcije radi usporedbe učinkovitosti detekcije vrsta.

Ovi rezultati zajedno naglašavaju komplementarnost dviju metoda: dok mikroskopija pruža morfološku rezoluciju i može otkriti rijetke taksone, protočna citometrija je superiorna u detekciji malih, jako fluorescirajućih stanica i omogućuje visokoprotočne kvantitativne analize. Kombinacija obje metode stoga pruža potpuniji uvid u sastav zajednice, osobito kada se uzmu u obzir i morfološka i fiziološka svojstva organizama.

6.3. *Primjena protočne citometrije sa zapisom pulsa u analizi fitoplanktona Po transektu u razdoblju 2023.-2024.*

Klaster analiza procijenjenih brojnosti svojti na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa otkrila je postojanje pet klastera. Klaster 2 prikazuje “osnovnu zajednicu” nazvanu tako jer u tom klasteru ne prevladava niti jedna svojta u većini uzoraka. Uzorci u kojima su ipak nađene veće brojnosti pojedinih svojti su oni koji su slični klasteru 5. Ipak, jedna grupa uzoraka u klasteru 2 (srpanj 2024.) zanimljiva je jer u njoj prevladava *Cylindrotheca closterium*, vrsta redovita u sluzavim nakupinama (Totti i sur. 2005; Revelante i Gilmartin 1991; Najdek i sur. 2005) koje su bile karakteristične za ljeto 2024. godine (Vilibić i sur. 2025). Taj fenomen bit će detaljnije diskutiran kasnije u tekstu (poglavlje 6.4.). Klaster 1 označava uzroke koji odgovaraju cvjetanju mora izazvanom rodnom *Skeletonema* u veljači 2023.

godine. Slično, klaster 3 obuhvaća uzorke koji odgovaraju periodu cvjetanja roda *Pseudo-nitzschia* u ožujku 2023. godine. Klaster 4 obilježen je rodom *Leptocylindrus* i pojavio se u rujnu 2023. godine ali on nije pronađen u sklopu dugoročnih istraživanja. Klaster 5 obuhvaća uzorke karakterizirane rodom *Chaetoceros* te je također pronađen u sklopu dugoročnih istraživanja u 2024., ali je pronađen i tijekom analize uzoraka te godine metodama uzorkovanja visoke učestalosti. Iz svega ovoga vidljivo je da klaster analiza podataka dobivenih analizom mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa može otkriti istovjetne zajednice kao i klaster analiza dugoročnih podataka dobivenih svjetlosnom mikroskopijom. Ovo daje dodatnu potvrdu za primjenu ovakvog metodološkog pristupa u istraživanju fitoplanktona.

Osim raznolikosti, istraženi su i utjecaji okolišnih čimbenika na fitoplankton, bilo na njegovu brojnost, bilo na njegova optička svojstva, odnosno morfološka i fiziološka obilježja. Analiza korelacije pokazuje da gradijent saliniteta karakterističan za sjeverni Jadran (Giani, Djakovac, i sur. 2012) je negativno koreliran s biovolumenom po uzorku. Sličan odnos pokazuje i odnos sa zemljopisnom duljinom, tim više jer je salinitet pozitivno koreliran, odnosno raste prema istoku. Time je potvrđeno da na istočnom dijelu transeкта prevladavaju oligotrofne zajednice (Mozetič i sur. 2010; Cozzi i sur. 2019), odnosno one pod manjim utjecajem slatke vode sa zapada. Stoga su sa salinitetom negativno korelirane i brojnosti gotovo svih funkcionalnih grupa.

PCA analiza, kao pridodana analiza dodatno može prikazati odnose između pojedinih uzoraka. Tako je vidljiva jasna razdvojenost zimskih uzoraka, na koje je utjecala niska temperatura te proljetnih, na koje je utjecao niski salinitet. Zimske uzorke karakteriziraju klasteri u kojima prevladavaju rodovi *Pseudo-nitzschia* i *Skeletonema* a osim toga za njih su zajednička i određena optička svojstva. Stanice nađene u tim uvjetima općenito karakterizira veći volumen stanice, visok udio pridodanih pigmenata, asimetrične i strukturalno kompleksnije stanice. Visok udio pridodanih pigmenata, koji je u ovom istraživanju uočen i u uzorcima s većih dubina posljedica je prilagodbe na uvjete manjeg osvjetljenja što je viđeno i istraživanju u Filipinskom moru (Lee i sur. 2022). U tom istraživanju, kao i ovdje vidljiva je preferencija cijanobakterija *Synechococcus* prema plićim slojevima, odnosno uvjetima jakog osvjetljenja. U proljetnim zajednicama prevladavaju uzorci karakterizirani vrstama iz roda *Chaetoceros*, cijanobakterijama iz roda *Synechococcus* te kokolitoforidima. U ovim zajednicama prevladavaju organizmi s kraćim stanicama ali većim brojem stanica u lancu te većim udjelom staničnog klorofila. Velik broj stanica u lancu u skladu je s morfološkim osobinama roda

Chaetoceros (Kooistra i sur. 2010). Zanimljivo je primijetiti kako je visoka granulacija posljedica je unutarstanične kompleksnosti, a ne postojanja izvanstaničnih nastavaka jer upravo vrste iz roda *Chaetoceros* posjeduju brojne nastavke na stanicama, kao i složene kolonije, a zajednice karakterizirane tim rodnom ne pokazuju povezanost s granulacijom.

Jesenske zajednice karakterizirane su dijatomejama iz roda *Leptocylindrus* koji je tipičan rod za ovo razdoblje (Godrijan i sur. 2013; Kužat i sur. 2022). Unatoč taksonomskoj sličnosti sa zimskim uzorcima kao i činjenici da je ovo jesenski uzorak jedan uzorak karakteriziran rodnom *Pseudo-nitzschia* pokazuje sličnije morfološke osobine proljetnim uzorcima. Najvjerojatniji razlog tomu je mogućnost da se radi o posebnoj vrsti ili posebnom skupu vrsta unutar tog vrlo raznolikog roda (14 zabilježenih vrsta u Jadranu, (Turk Dermastia i sur. 2020)) koje je teško odrediti samo na temelju mikrofotografija ili zapisa pulsa.

Istraživanje povezanosti optičkih svojstava stanica dobivenih protočnom citometrijom sa zapisom pulsa s okolišnim čimbenicima slično ovome provedeno je i u sjevernom Atlantiku. Kao i ovdje i tamo je pronađena povezanost između saliniteta i udjela pridodanih pigmenata spram klorofila te adaptacija fitoplanktona na uvjete osvjetljenja (Fragoso i sur. 2019).

Rezultati ovih analiza pokazuju da okolišni čimbenici utječu na morfološka i fiziološka obilježja stanica, koja se potom odražavaju kao zabilježena optička svojstva.

Rezultati analize povezanosti morfoloških i fizioloških obilježja fitoplanktona duž Po transekt prikazuju preliminarne nalaze. Potrebno je nastaviti s ovim pristupom kako bi se obradio veći broj uzoraka, čime bi se omogućilo dublje razumijevanje promjena optičkih svojstava i osobina organizama u odnosu na varijabilne okolišne uvjete. Upravo u sljedećem poglavlju bit će prikazan konkretan primjer takve analize.

6.4. Brze promjene u zajednici fitoplanktona i analiza fenomena sluzavih nakupina 2024. godine

Podaci senzora na plutači pokazuju nagli rast temperature kao i pad saliniteta početkom lipnja 2024, što je uočeno i kod druge studije iz tog razdoblja (Vilibić i sur. 2025). Vrijednosti saliniteta su pale ispod uobičajenih vrijednosti za ovo područje i bile su sličnije onima uobičajenima blizu ušća rijeke Po (Lipizer i sur. 2014). Zabilježeni pad saliniteta odražavao je trenutno djelovanje rijeke Po i cirkulacije, a bio je u suprotnosti s trendovima porasta saliniteta zabilježenih u Jadranskom moru (Mihanović i sur. 2021; Ricci i sur. 2024). Ovo zagrijavanje i utjecaj slatke vode pratilo je snažno cvjetanje mora i pojava velikih sluzavih nakupina, slično

kao i 2000. te 2002. godine (Russo i sur. 2005). Tada je velik utjecaj imala i intruzija oligotrofnih voda s istočnog Sredozemlja koja je bila u kombinaciji sa slatkom vodom sa zapada, kao i naglim zagrijavanjem površinskog sloja. To intenzivno raslojavanje vodenog stupca omogućilo je pojavu velikih sluzavih nakupina. Daljnje stabilno vrijeme pogodovalo je zadržavanju sluzi. Fenomen je tada prestao nakon snažne bure (Russo i sur. 2005), baš kao i u ovom slučaju 2024. godine. Uzevši sve u obzir, rezultati potvrđuju da su i naknadne pojave sluzavih nakupina tijekom srpnja i kolovoza povezane s epizodama naglog zagrijavanja mora i utjecajima slatke vode.

Također, potvrđeno je da svaka epizoda pojave sluzavih nakupina počinje s vrlo intenzivnim cvjetanjem mikrofitoplanktona koji je dominirao biomasom, kao što je i očekivano (Flander-Putrlle i Malej 2008).

Budući da je RedMicro funkcionalna grupa zapravo mikrofitoplankton, uglavnom dijatomeje i dinoflagelati (Thyssen i sur. 2022), ovdje su zabilježeni vrhunci u njihovoj brojnosti prije svake epizode sluzavih nakupina. Na kolekcijama mikrofotografija vidljivo je da su glavni konstituent RedMicro grupe dijatomeje, a potom dinoflagelati. Štoviše, u tim cvjetanjima mora obično prevladava jedna vrsta. Prvo veliko cvjetanje mora bilo je u travnju kada su prevladavale dijatomeje iz roda *Chaetoceros*, slično kao i u jesen. Ovo cvjetanje nije uzrokovalo pojavu velikih sluzavih nakupina, moguće zbog snažnih vjetrova koji su u prevladavali u proljeće. U lipnju 2024. godine dogodilo se iznimno snažno cvjetanje dijatomeje *Cerataulina pelagica*, s brojnostima većima od 10 milijuna stanica po litri, čime je to cvjetanje najintenzivnije u zadnjih 25 godina (**Prilog 4**), o što je bilo spomenuto ranije u radu. Zanimljivo je da je tijekom toga cvjetanja mora snažno pala koncentracija otopljenog kisika, sugerirajući snažnu respiraciju. Brojnosti mikrofitoplanktona usporedive su s onima kasnih 1980-ih (Marić i sur. 2012), kada su također bile prisutne velike sluzave nakupine (Stachowitsch, Fanuko, i Richter 1990; Degobbis, Malej, i Umani 1999). Upravo su nakon ovog cvjetanja prve sluzave nakupine primjećene 2024. godine. Također, ovo je prvo cvjetanje u nizu gdje je jedna vrsta prevladavala u uzorku. Tijekom sljedećih dana zajednica u kojoj prevladava *C. pelagica* zamijenjena je onom u kojoj prevladavaju dinoflagelati. Nakon toga smanjuju se brojnosti mikrofitoplanktona i u uzorcima ponovo prevladava “osnovna zajednica”, ona s malim brojnostima i raznolikosti.

Kasnije tijekom sljedećih epizoda cvjetanja nađene su velike brojnosti vrste *C. closterium* koje je jedna od vrsta karakteristična za stare agregate (Totti i sur. 2005; Revelante i Gilmartin 1991). Ova vrsta i sama može proizvoditi sluz, pa time može imati ulogu u održavanju sluzi (Najdek i sur. 2002, 2005). Moguće je i da ova vrsta preferira sluz zbog toga što je ona izvor hranjivih tvari koje ova miksotrofna vrsta može iskorištavati (Kumar i sur. 2024) .

Druga vrsta sa sličnim ekološkim preferencijama i koja je povezana sa stvaranjem i održavanjem sluzavih nakupina je dinoflagelat *Gonyaulax fragilis* (Pistocchi i sur. 2005; Pompei i sur. 2003). Ta se vrsta pojavila u većim brojevima u kasnom lipnju kada je nova epizoda sluzavih nakupina počela na obali Rovinja. Tada je bilo moguće promatrati fenomen bioluminiscencije prilikom fizičkog dodirivanja sluzi i morske vode. I dalje je teško reći uzrokuje li ova vrsta pojavu sluzavih nakupina ili je i ona kolonizator već postojećih nakupina. U prvom slučaju je moguće da je na istočnoj obali Jadrana cvjetanje te vrste bilo u već poodmakloj fazi tijekom epizoda cvjetanja dijatomeja budući da ovi dinoflagelati stvaraju trajne stadije (ciste) koje često potonu u starijim nakupinama, nakon nastanka sluzi (Pompei i sur. 2003) pa ne možemo tvrditi da su oni proizveli nakupine.

Još jedna vrsta dinoflagelata zabilježena u ovome radu i pronađena u sklopu sluzavih nakupina te karakteristična za njih jest *Tripes furca* (Cecilia Totti i sur. 2005). U srpnju je zabilježeno novo cvjetanje mora, ovaj put izazvano vrstom *C. closterium* u sklopu nakupina, pa je moguće da se ovdje radi o već starim nakupinama, kao što je ranije diskutirano. Zadnje veliko cvjetanje mora praćeno pojavom nakupina bilo je početkom kolovoza kada je *Thalassionema* sp. postigla velike brojnosti. Identifikacija točne vrste iz ovog roda dijatomeja izazovno je, pogotovo na mikrofotografijama protočnog citometra budući da stanice nisu gradile karakteristične kolonije, čiji pak oblik pomaže kod identifikacije vrsta. Budući da po morfološkim karakteristikama viđene stanice mogu biti svrstane bilo u vrstu *Thalassionema nitzschioides* ili *Thalassionema frauenfeldii*, u ovome radu je stoga korištena identifikacija na razini roda. Unatoč tome, moguće je uočiti da je *Thalassionema nitzschioides* bila važna vrsta tijekom pojave sluzavih nakupina tijekom 1997. godine (Najdek i sur. 2002; Kraus i Supić 2015).

Kraj ljeta bio je obilježen jačim vjetrovima. Prvom polovicom rujna ponovno je viđena “osnovna zajednica” koja je bila i tijekom ostatka kolovoza, ovaj put u uvjetim miješanja mora. Miješanje mora može se pretpostaviti zbog naglog pada površinske temperature mora. U ovim uvjetima više nisu bile uočene sluzave nakupine.

Tijekom jeseni pojavile su se zajednice s većim brojem vrsta. Kod svih je zajedničko cvjetanje dijatomeje *Pseudo-nitzschia* sp. Ostale vrste koje su bile prisutne, i koje su uvjetovale zajednicu bile su one iz roda *Chaetoceros* u ranom listopadu, poput *Chaetoceros vixvisibilis* i *Chaetoceros didymus* te kokolitoforidi kasnije. U studenom su prateće vrste bile dijatomeje *Chaetoceros socialis* i *Neomoelleria cornuta*. Krajem studenog jesensko cvjetanje je prestalo. Za vrste *Chaetoceros* sp., *Chaetoceros socialis*, *Pseudo-nitzschia* sp. može se reći da su tipične jesenske vrste dijatomeja koje žive u uvjetima miješanja mora (Godrijan i sur. 2013; Neri i sur. 2022).

Zanimljiva je pojava da je tijekom pojave sluzavih nakupina nađen manji broj vrsta, odnosno manja raznolikost nego u drugim uvjetima, poput jeseni ili proljeća, kada veći broj vrsta sudjeluje u cvjetanju mora. Iako je poznato da do toga dolazi u sluzavim nakupinama (Flander-Putrlle i Malej 2008), još uvijek nije poznato zašto. Kako bi se razjasnila ova zabilježena manja raznolikost tijekom pojave sluzavih nalupina, u ovome radu korištena je analiza morfoloških osobina stanica kako bi se pronašle njihove moguće prilagodbe na uvjete u okolišu. U ovome radu vidljivo je da su jesenske i ljetne zajednice jasno odvojene bilo da se promatraju morfološke osobine, ekološki uvjeti i brojnosti unutar funkcionalnih grupa. Jesenske su zajednice posebne zbog prevladavanja vrsta koje stvaraju lančaste kolonije, koje imaju viši stanični klorofil i koje imaju veći udio ostalih pigmenata spram klorofila. S druge strane, u ljetnim zajednicama prevladavaju organizmi s debljim stanicama, nižim sadržajem klorofila i ostalih pigmenata kao i sa složenijom ultrastrukturom. Veličina stanice jedna je od najvažnijih morfoloških osobina zbog njezinog utjecaja na izbjegavanje predacije, brzinu tonjenja, učinkovitost apsorpcije i skladištenja hranjivih tvari (Litchman i sur. 2010). U ovome radu je nađeno da tijekom ljeta, kada zbog raslojavanja vodenog stupa dolazi do limitacije u dostupnosti hranjivih soli (Ivančić i sur. 2012) prevladavaju veće i izduženije stanice. Iako se očekuje da će manje stanice učinkovitije iskorištavati hranjive soli zbog većeg omjera površine i volumena (Ivančić i sur. 2012), zapravo u tim uvjetima uspijevaju i veće stanice ukoliko su one izdužene i nisu u kolonijama (Pahlow, Riebesell, i Wolf-Gladrow 1997). To je potvrđeno i u ovome radu gdje su jednostanične *Cylindrotheca closterium* i *Thalassionema* sp. nađene tijekom pojave sluzavih nakupina. Ovdje je još interesantnije kako vrsta *Thalassionema* sp. nije nađena u karakterističnim lancima, što sugerira izravnu prilagodbu na uvjete, a ne selekciju. Veće stanice imaju i dodatnu prednost u uvjetima ograničene dostupnosti hranjivih tvari, a to je da mogu pohraniti više dušika i fosfora (Hillebrand i sur. 2022). Veće stanice doprinose i jačem izlučivanju organskih tvari (Hillebrand i sur. 2022) čime mogu doprinijeti formiranju sluzi. Veće stanice su otpornije na predaciju od zooplanktona (Riegman i sur. 1993) što bi također moglo biti povezano s pojavom sluzavih nakupina budući da je manja predacija povezana s tim fenomenom (Degobbis, Malej, i Umani 1999).

Još jedan zanimljiv nalaz u ovom radu odnosi se na povećanu složenost ultrastrukture stanica, odnosno veću granulaciju, koja se očituje kroz omjer SWS i FWS signala protočne citometrije. Više vrijednosti tog omjera mogu upućivati na prisutnost brojnih staničnih nastavaka, no to ovdje nije slučaj jer ako se uzmu mikrofotografije kao dokaz tada se vidi da prevladavaju stanice bez nastavaka, što je potvrđeno i ranije u radu (Poglavlje 6.4). Stoga se može pouzdano zaključiti da povećana granulacija odražava složeniju ultrastrukturu stanične stijenke i organela.

Povišene temperature i ograničena dostupnost hranjivih tvari mogu dodatno utjecati na promjene u strukturi i funkciji unutarnjih staničnih membrana (Cantarero i sur. 2024; Abida i sur. 2015). Osim toga, tijekom ljeta fotosintetski aparat doživljava stres koji se odražava na povećanoj složenosti stanica i nižoj koncentraciji klorofila (Napoléon, Raimbault, i Claquin 2013). U jesenskoj zajednici s druge strane korisnije su druge morfološke karakteristike koje pomažu organizmima da žive u uvjetima miješanja vodenog stupca. Tada prevladavaju dugolančane kolonije stanica koje im daju veliku prednost jer pomažu organizmima da migriraju vertikalno u turbulentnoj vodi (Lovecchio i sur. 2019). Lančaste kolonije također pomažu u izbjegavanju predacije, reprodukciji (Basterretxea, Font-Muñoz, i Tuval 2020) te korištenju hranjivih tvari i svjetla (McFarland i sur. 2020; Luigi Naselli-Flores i Barone 2011). Osim toga, u jesenskoj zajednici prevladavaju manje stanice koje su bolji kompetitori za svjetlo i hranjive tvari (Riegman i sur. 1993; Sommer i sur. 2017). Viši sadržaj klorofila također ukazuje na prilagodbu na uvjete manjeg osvjetljenja (Fisher i Halsey 2016).

Iz toga se vidi da u velikim nakupinama služi prevladavaju specijalistički životni oblici koji su dobro prilagođeni visokim temperaturama i raslojenom vodenom stupcu. Kada se dogode pulsevi slatke vode obogaćene hranjivim solima tada preživljavaju robusniji organizmi s velikim i izduženim stanicama (Sommer i sur. 2017). Moguće je da ti organizmi zapravo preferiraju takve uvjete gdje u sluzavim nakupina žive zaštićeni od tonjenja i predacije. Oni tada mogu u kratkom vremenu postići iznimno velike brojnosti, ali ta cvjetanja mora su kratkotrajna zbog ograničene dostupnosti hranjivih tvari. Tijekom jeseni prevladavaju više generalistički životni oblici, koji su u kompeticiji jedni s drugima. Budući da je period miješanja mora dugotrajana, u tim uvjetima može i cvjetanje mora dugo trajati. Zbog toga je jesensko cvjetanje mora obilježeno dominacijom nekoliko vrsta istovremeno.

Jedno od pitanja provedenog istraživanja jest i uloga vrste *Cerataulina pelagica* u inicijaciji fenomena sluzavih nakupina. Ranije u ovom radu (Poglavlje 6.1.1.) diskutirano je kako se pojava klastera karakterizirnog upravo ovom vrstom u dugoročnim podacima može dovesti u vezu s masovnom pojavom sluzavih nakupina od 2000. - 2004. godine. Isti klaster nađen je i 2024. godine, kako u dugoročnim podacima, tako i u ovom skupu podataka. O vrsti *Cerataulina pelagica* može se reći da je tipična ljetna vrsta u sjevernom Jadranu (Aubry i Acri 2004), kao i da redovito živi u sklopu sluzavih nakupina (Najdek i sur. 2002; Cabrini, Umani, i Honsell 1992; Totti i sur. 2005). Zanimljivo je da je u ovom radu kao i 2004. godine zabilježena prva pojava sluzavih nakupina netom nakon intenzivnog cvjetanja vrste *Cerataulina pelagica* (Socal i sur. 2008). Isto tako, ova vrsta može stvarati veću količinu sluzi, što je zabilježeno u morima sjeveroistočno od Novog Zelanda (Taylor, Taylor, i Walsby 1985). Ovdje je moguće predložiti

ideju da je upravo ova vrsta odgovorna za oslobađanje velike količine organske tvari koja uzrokuje stvaranje sluzavih nakupina. Kako te nakupine stare, tako ih naseljavaju druge vrste koje su tipično pronađene u njima, poput dijatomeje *Cylindrotheca closterium* i dinoflagelata poput *Gonyaulax fragilis*. Dakle, praćenje promjena u zajednici metodama uzorkovanja visoke učestalosti omogućilo je praćenje sukcesije fitoplanktonske zajednice tijekom fenomena sluzavih nakupina. Predloženi scenarij je da fenomen započinje nakon snažnih cvjetanja mora uzrokovanih naglim rastom temperature prilikom snažnog dotoka slatke vode obogaćene hranjivim solima. Dijatomeje poput *C. pelagica* i ostalih doprinose oslobađanju velikih količina organske tvari koja se nakuplja u uvjetima mirnog vremena i stratificiranog mora. Brza potrošnja hranjivih soli dovodi do limitacije hranjivim solima što dodatno pojačava sam fenomen. Prisutnost sluzavih nakupina, limitacije hranjivim solima te visoke temperature dovode do stvaranja nepovoljnih ekoloških uvjeta za većinu fitoplanktonskih vrsta, osim za specijaliste koji tada postižu velike brojnosti. Ti specijalisti karakterizirani su robusnijim morfološkim obilježjima i više ulažu u rast pojedinačnih stanica nego kolonija.

Osim mikrofitoplanktona, tijekom pojave sluzavih nakupina uočena je fina dinamika i drugih funkcionalnih skupina poput nanofitoplanktona i kokolitoforida. Iako je za nanofitoplankton poznato da je važan konstituent zajednice sluzavih nakupina (Kaltenböck i Herndl 1992), njegova uloga u cijelom procesu tek treba biti otkrivena. Slično vrijedi i za cijanobakterije, među kojima je *Synechococcus* bio brojna u sluzavim nakupinama, ali znatno slabiju od prethodno spomenutih skupina. Uloga pikocijanobakterija već je istražena, a pokazano je da su abundancije pikoplanktona obično više u zajednicama povezanim sa sluzavim nakupinama (Vanucci 2003; Totti i sur. 2005; Kaltenböck i Herndl 1992). Ipak, uloga autotrofnih i heterotrofnih bakterija te ostalog pikoplanktona još uvijek nije jasna. Na primjer, zabilježene su niske razine kisika na početku pojave, što otvara pitanje o ulozi respiracije u tom procesu. Povećana respiracija bi, u teoriji, trebala dovesti do nižih koncentracija šećera. Međutim, značajno otpuštanje organske tvari moglo bi također biti posljedica razgradnje mrtvih stanica. Stoga bi i heterotrofne organizme trebalo uključiti u monitoring ove pojave u budućnosti pomoću brzih metoda poput protočne citometrije prilagođene za otkrivanje organizama obojenih umjetnim pigmentima, budući da potpuni heterotrofi nemaju autofluorescentne pigmente (Zubkov, Burkill, i Topping 2007; Silovic i sur. 2017).

Analiza fitoplanktonske zajednice tijekom 2024. godine, kada je bila pojava sluzavih nakupina, metodama uzorkovanja visoke učestalosti dala je uvid u brze promjene u njoj, koje bi bilo vrlo

teško analizirati tradicionalnim tehnikama poput svjetlosne mikroskopije. Osim toga, primjenom protočne citometrije sa zapisom pulsa i njegovih mikrofotografija moguće je dobiti podatke o brojnostima fitoplanktona u svim veličinskim frakcijama u vrlo kratkom vremenu. To omogućuje otkrivanje promjena u fitoplanktonskoj zajednici koje bi konvencionalnim metodama ostale nezamijećene.

7. ZAKLJUČCI

U kontekstu postavljenih ciljeva i hipoteza ovog istraživanja može se zaključiti sljedeće:

Cilj 1. je ostvaren: prostorno-vremenski odnosi fitoplanktonskih skupina analizirani su metodom svjetlosne mikroskopije u razdoblju od 2000. do 2024. godine te pomoću protočne citometrije sa zapisom pulsa, koja je uvedena kao nova metoda u razdoblju od 2023. do 2024. godine. Primjenom klaster analize na dugoročnim podacima utvrđeno je postojanje više različitih zajednica fitoplanktona. Neke su pokazivale stabilne obrasce pojavljivanja, dok su se druge javljale sporadično, čime je hipoteza 1. odbačena jer prostorno-vremenski obrasci nisu pokazali stabilnost, već su zamijenjeni epizodnim pojavama cvjetanja mora. Primjerice, zajednice karakterizirane vrstama *Cerataulina pelagica* i *Skeletonema* sp. pokazale su smanjenu pojavnost tijekom vremena, dok su se neke zajednice počele pojavljivati tek kasnije u promatranom razdoblju. Promjene su povezane s okolišnim čimbenicima, poput dotoka slatke vode, duljine dana i dostupnosti hranjivih tvari.

U okviru cilja 2. uspoređene su metode analize fitoplanktona: svjetlosna mikroskopija i protočna citometrija sa zapisom oblika pulsa (uključujući mikrofotografiranje) kako bi se procijenila njihova učinkovitost u praćenju brojnosti i raznolikosti fitoplanktonske zajednice. Rezultati pokazuju da protočna citometrija sa zapisom pulsa predstavlja učinkovit i pouzdan alat za praćenje promjena u fitoplanktonskoj zajednici. Ova metoda omogućuje opisivanje istih trendova u brojnosti i raznolikosti kao i svjetlosna mikroskopija, pri čemu je učinkovitost u prepoznavanju i kvantificiranju raznolikosti usporediva između dviju metoda. Iako svjetlosna mikroskopija omogućuje identifikaciju većeg broja svojti, obrasci u zajednici otkriveni protočnom citometrijom dobro odgovaraju onima dobivenima mikroskopijom. Time je potvrđena hipoteza 2: brojnost i raznolikost dobiveni protočnom citometrijom sa zapisom oblika pulsa prate iste trendove kao i oni dobiveni svjetlosnom mikroskopijom.

U okviru cilja 3. proučavana je prostorno-vremenska dinamika optičkih svojstava fitoplanktonske zajednice u okolišu. Analiza optičkih svojstava fitoplanktonskih stanica pokazala je da se ta svojstva značajno mijenjaju u prostoru i vremenu. Međutim, utvrđeno je da ove promjene nisu prvenstveno povezane s taksonomskom pripadnošću stanica, već odražavaju funkcionalne prilagodbe pojedinih stanica i selekciju životnih oblika u odnosu na promjenjive

uvjete okoliša čime je dio hipoteze 3. odbačen: promjene optičkih svojstava fitoplanktonskih stanica nisu određene taksonomskom pripadnošću, već predstavljaju odgovor zajednice na okolišne čimbenike i selekcijske pritiske. To je vidljivo u analizi zajednice fitoplanktona tijekom 2024. godine kada su u zajednicama povezanim sa sluzavim nakupinama prevladavale robusnije pojedinačne stanice umjesto lanaca i kolonija.

Cilj 4. bio je optimizirati frekvenciju uzorkovanja, prepoznati i predložiti nove čimbenike koji ukazuju na promjene u ekosustavu te definirati mjerljive indikatore promjena ekosustava. Cilj je ostvaren tijekom analize fitoplanktona 2024. godine pomoću protočne citometrije sa zapisom pulsa gdje je analiza vršena svakog dana. Hipoteza 4. pretpostavila je da uzorkovanje visoke učestalosti može pružiti uvid u brze promjene u fitoplanktonskoj zajednici i time nadopuniti tradicionalne metode uzorkovanja i analize. Uzorkovanjem visoke učestalosti tijekom 2024. godine zabilježene su brze i izražene promjene u sastavu fitoplanktonske zajednice, što je bilo osobito vidljivo tijekom pojave sluzavih nakupina. Rezultati potvrđuju da takav pristup omogućuje preciznije prepoznavanje kratkotrajnih ekoloških procesa i promjena. Na temelju dobivenih rezultata, hipoteza 4. je potvrđena, jer je dobivena detaljniji prikaz sukcesije životnih oblika fitoplanktona.

Sintezom rezultata proizlazi da se fitoplanktonska zajednica u sjevernom Jadranu mijenja kroz vrijeme, pri čemu stabilne sezonske strukture postupno ustupaju mjesto dinamičnijim i manje predvidivim obrascima. Ova promjenjivost zahtijeva prilagodbu pristupa praćenju ekosustava. Protočna citometrija sa zapisom pulsa pruža veću prostorno-vremensku rezoluciju i nove indikatore koji nadopunjuju tradicionalnu taksonomsku analizu. Na temelju dobivenih spoznaja preporučuje se sustavna integracija protočne citometrije u dugoročno praćenje fitoplanktona u sjevernom Jadranu, uz zadržavanje svjetlosne mikroskopije kao referentne metode. Dodatno, uvođenje uzorkovanja visoke učestalosti nužno je kako bi se mogle pratiti kratkotrajne i brze promjene u zajednici. Takav kombinirani pristup omogućit će pravovremeno prepoznavanje ekoloških pomaka, identifikaciju mjerljivih indikatora promjena te osigurati čvrstu znanstvenu osnovu za predviđanje odgovora morskih ekosustava na buduće okolišne i klimatske promjene.

8. LITERATURA

1. Abida, Heni, Lina-Juana Dolch, Coline Meï, Valeria Villanova, Melissa Conte, Maryse A. Block, Giovanni Finazzi, i sur. 2015. „Membrane Glycerolipid Remodeling Triggered by Nitrogen and Phosphorus Starvation in *Phaeodactylum tricornutum*“. *Plant physiology* 167 (1): 118–36.
2. Adl, Sina M., David Bass, Christopher E. Lane, Julius Lukeš, Conrad L. Schoch, Alexey Smirnov, Sabine Agatha, i sur. 2019. „Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes“. *The Journal of eukaryotic microbiology* 66 (1): 4–119.
3. Anneville, Orlane, Sami Souissi, Frédéric Ibanez, Vincent Ginot, Jean Claude Druart, i Nadine Angeli. 2002. „Temporal mapping of phytoplankton assemblages in Lake Geneva: Annual and interannual changes in their patterns of succession“. *Limnology and oceanography* 47 (5): 1355–66.
4. Artegiani, A., E. Paschini, A. Russo, D. Bregant, F. Raicich, i N. Pinardi. 1997. „The Adriatic Sea General Circulation. Part II: Baroclinic Circulation Structure“. *Journal of physical oceanography* 27 (8): 1515–32.
5. Aubry, Fabrizio Bernardi, Francesco Acri, Mauro Bastianini, Stefania Finotto, i Alessandra Pugnetti. 2025. „Phytoplankton dynamics and responses to two extreme events in the Gulf of Venice, Northern Adriatic Sea, Italy“. *Estuarine, coastal and shelf science* 323 (rujan):109398.
6. Aubry, Fabrizio Bernardi, Gianpiero Cossarini, Francesco Acri, Mauro Bastianini, Franco Bianchi, Elisa Camatti, Amelia De Lazzari, Alessandra Pugnetti, Cosimo Solidoro, i Giorgio Socal. 2012. „Plankton communities in the northern Adriatic Sea: Patterns and changes over the last 30 years“. *Estuarine, coastal and shelf science* 115:125–37.
7. Basterretxea, G., J. S. Font-Muñoz, i I. Tuval. 2020. „Phytoplankton Orientation in a Turbulent Ocean: A Microscale Perspective“. *Frontiers in marine science* 7. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2020.00185>.
8. Bergamasco, Andrea, Temel Oguz, i Paola Malanotte-Rizzoli. 1999. „Modeling dense water mass formation and winter circulation in the northern and central Adriatic Sea“. *Journal of Marine Systems* 20 (1): 279–300.
9. Bernardi Aubry, Fabrizio, i Francesco Acri. 2004. „Phytoplankton seasonality and exchange at the inlets of the Lagoon of Venice (July 2001–June 2002)“. *Lagoon of Venice. Circulation, Water Exchange and Ecosystem Functioning* 51 (1): 65–76.
10. Bernardi Aubry, Fabrizio, Francesco Acri, Mauro Bastianini, Franco Bianchi, Daniele

- Cassin, Alessandra Pugnetti, i Giorgio Socal. 2006. „Seasonal and interannual variations of phytoplankton in the Gulf of Venice (Northern Adriatic Sea)“. *Chemistry and Ecology* 22 (SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1080/02757540600687962>.
11. Bernardi Aubry, Fabrizio, Francesco Acri, Mauro Bastianini, Stefania Finotto, i Alessandra Pugnetti. 2022. „Differences and similarities in the phytoplankton communities of two coupled transitional and marine ecosystems (the Lagoon of Venice and the Gulf of Venice - Northern Adriatic Sea)“. *Frontiers in marine science* 9. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.974967>.
 12. Bernardi Aubry, Fabrizio, Francesco Acri, Stefania Finotto, i Alessandra Pugnetti. 2021. „Phytoplankton Dynamics and Water Quality in the Venice Lagoon“. *WATER* 13 (19). <https://doi.org/10.3390/w13192780>.
 13. Beszteri, Bánk, Uwe John, i Linda K. Medlin. 2007. „An assessment of cryptic genetic diversity within the *Cyclotella meneghiniana* species complex (Bacillariophyta) based on nuclear and plastid genes, and amplified fragment length polymorphisms“. *European journal of phycology* 42 (1): 47–60.
 14. Bloem, J., M. J. Bär-Gilissen, i T. E. Cappenberg. 1986. „Fixation, Counting, and Manipulation of Heterotrophic Nanoflagellates“. *Applied and Environmental Microbiology* 52 (6): 1266–72.
 15. Boldrin, A., S. Carniel, M. Giani, M. Marini, F. Bernardi Aubry, A. Campanelli, F. Grilli, i A. Russo. 2009. „Effects of bora wind on physical and biogeochemical properties of stratified waters in the northern Adriatic“. *Journal of geophysical research* 114 (C8): 1–19.
 16. Booth, B. C. 1988. „Size classes and major taxonomic groups of phytoplankton at two locations in the subarctic pacific ocean in May and August, 1984“. *Marine biology* 97 (2): 275–86.
 17. Bosak, Suncica. 2013. „Taxonomy and ecology of the planktonic diatom family Chaetocerotaceae (Bacillariophyta) from the Adriatic sea“. PhD, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
 18. Bosak, Sunčica, Jelena Godrić, i Tina Šilović. 2016. „Dynamics of the marine planktonic diatom family Chaetocerotaceae in a Mediterranean coastal zone“. *Estuarine, coastal and shelf science* 180 (listopad):69–81.
 19. Bristow, Laura A., Wiebke Mohr, Soeren Ahmerkamp, i Marcel M. M. Kuypers. 2017. „Nutrients that limit growth in the ocean“. *Current biology: CB* 27 (11): R474–78.
 20. Browning, Thomas J., i C. Mark Moore. 2023. „Global analysis of ocean phytoplankton nutrient limitation reveals high prevalence of co-limitation“. *Nature communications* 14 (1): 5014.
 21. Brush, Mark J., Patricija Mozetič, Janja Francé, Fabrizio Bernardi Aubry, Tamara

- Djakovac, Jadran Faganeli, Lora A. Harris, i Meghann Niesen. 2020. „Phytoplankton Dynamics in a Changing Environment“. U *Coastal Ecosystems in Transition*, 49–74.
22. Burki, Fabien, Andrew J. Roger, Matthew W. Brown, i Alastair G. B. Simpson. 2020. „The New Tree of Eukaryotes“. *Trends in ecology & evolution* 35 (1): 43–55.
 23. Cabrini, Marina, Daniela Fornasaro, Gianpiero Cossarini, Marina Lipizer, i Damiano Virgilio. 2012. „Phytoplankton temporal changes in a coastal northern Adriatic site during the last 25 years“. U , 115:113–24.
 24. Cabrini, M., S. Fonda Umani, i G. Honsell. 1992. „Mucilaginous aggregates in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): analysis of the phytoplanktonic communities in the period June—August 1989“. U *Marine Coastal Eutrophication*, uredio R. A. Vollenweider, R. Marchetti, i R. Viviani, 557–68. Amsterdam: Elsevier.
 25. Cai, Shujie, Weiran Liu, Zhuyin Tong, Lizhen Lin, Linjian Ou, Wupeng Xiao, i Bangqin Huang. 2024. „Salinity threshold for phosphorus limitation in an estuary-coast continuum“. *Frontiers in marine science* 11.
<https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2024.1437405>.
 26. Callieri, Cristiana, i John G. Stockner. 2002. „Freshwater autotrophic picoplankton: a review“. *Journal of limnology* 61 (1): 1–14.
 27. Cantarero, S. I., E. Flores, H. Allbrook, P. Aguayo, C. A. Vargas, J. E. Tamanaha, J. B. C. Scholz, i sur. 2024. „Lipid remodeling in phytoplankton exposed to multi-environmental drivers in a mesocosm experiment“. *Biogeosciences* 21 (17): 3927–58.
 28. Caron David A. 1983. „Technique for Enumeration of Heterotrophic and Phototrophic Nanoplankton, Using Epifluorescence Microscopy, and Comparison with Other Procedures“. *Applied and environmental microbiology* 46 (2): 491–98.
 29. Casabianca, Silvia, Samuela Capellacci, Fabio Ricci, Michele Scardi, i Antonella Penna. 2022. „A phytoplankton time series in the Northwestern Adriatic Sea: Structure and dynamics of the assemblages in a coastal ecosystem“. *Estuarine, coastal and shelf science* 278 (studeni):108109.
 30. Cerino, Federica, Daniela Fornasaro, Martina Kralj, Michele Giani, i Marina Cabrini. 2019. „Phytoplankton temporal dynamics in the coastal waters of the north-eastern Adriatic Sea (Mediterranean Sea) from 2010 to 2017“. *Nature Conservation* 34:343–72.
 31. Chesson, Peter. 2000. „Mechanisms of Maintenance of Species Diversity“. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 31 (Volume 31, 2000): 343–66.
 32. Chisholm, Sallie W., Robert J. Olson, Erik R. Zettler, Ralf Goericke, John B. Waterbury, i Nicholas A. Welschmeyer. 1988. „A novel free-living prochlorophyte abundant in the oceanic euphotic zone“. *Nature* 334 (6180): 340–43.
 33. Cibic, Tamara, Laura Baldassarre, Federica Cerino, Cinzia Comici, Daniela Fornasaro,

- Martina Kralj, i Michele Giani. 2022. „Benthic and Pelagic Contributions to Primary Production: Experimental Insights From the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea)“. *Frontiers in Marine Science* 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.877935>.
34. Coll, Marta, Chiara Piroddi, Camille Albouy, Frida Ben Rais Lasram, William W. L. Cheung, Villy Christensen, Vasiliki S. Karpouzi, i sur. 2012. „The Mediterranean Sea under siege: spatial overlap between marine biodiversity, cumulative threats and marine reserves“. *Global ecology and biogeography: a journal of macroecology* 21 (4): 465–80.
 35. Cornello, Michele, Rossella Boscolo, i Otello Giovanardi. 2005. „Do mucous aggregates affect macro-zoobenthic community and mussel culture? A study in a coastal area of the Northwestern Adriatic Sea“. *The Science of the total environment* 353 (1): 329–39.
 36. Cozzi, Stefano, i Michele Giani. 2011. „River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: Current importance and long term changes“. *Continental shelf research* 31 (18): 1881–93.
 37. Cozzi, Stefano, Carles Ibáñez, Luminita Lazar, Patrick Raimbault, i Michele Giani. 2019. „Flow Regime and Nutrient-Loading Trends from the Largest South European Watersheds: Implications for the Productivity of Mediterranean and Black Sea's Coastal Areas“. *WATER* 11 (1). <https://doi.org/10.3390/w11010001>.
 38. Daley, Ralph J., i John E. Hobbie. 1975. „Direct counts of aquatic bacteria by a modified epifluorescence technique1“. *Limnology and oceanography* 20 (5): 875–82.
 39. Davey, H. M., i D. B. Kell. 1996. „Flow cytometry and cell sorting of heterogeneous microbial populations: the importance of single-cell analyses“. *Microbiological reviews* 60 (4): 641–96.
 40. Degobbi, D., A. Malej, i S. F. Umani. 1999. „The mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea. A critical review of the present scientific hypotheses“. *Annali dell'Istituto superiore di sanita* 35 (3): 373–81.
 41. Degobbi, D., R. Precali, I. Ivancic, N. Smodlaka, D. Fuks, i S. Kveder. 2000. „Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication“. *International Journal of Environment and Pollution* 13 (1-6): 495–533.
 42. De Lazzari, Amelia, Daniela Berto, Daniele Cassin, Alfredo Boldrin, i Michele Giani. 2008. „Influence of winds and oceanographic conditions on the mucilage aggregation in the Northern Adriatic Sea in 2003–2006“. *Marine ecology* 29 (4): 469–82.
 43. Dengler, Jürgen. 2009. „Which function describes the species–area relationship best? A review and empirical evaluation“. *Journal of biogeography* 36 (4): 728–44.
 44. Devescovi, Massimo, i Ljiljana Ivesa. 2007. „Short Term Impact of Planktonic Mucilage Aggregates on Macrobenthos along the Istrian Rocky Coast (Northern Adriatic, Croatia)“. *Marine Pollution Bulletin* 54 (7): 887–93.

45. Djakovac, Tamara, Danilo Degobbis, Nastjenjka Supić, i Robert Precali. 2012. „Marked reduction of eutrophication pressure in the northeastern Adriatic in the period 2000–2009“. *Estuarine, coastal and shelf science* 115 (prosinac):25–32.
46. Dubelaar, G. B., P. L. Gerritzen, A. E. Beeker, R. R. Jonker, i K. Tangen. 1999. „Design and first results of CytoBuoy: a wireless flow cytometer for in situ analysis of marine and fresh waters“. *Cytometry* 37 (4): 247–54.
47. Dubelaar, G. B. J., i P. L. Gerritzen. 2000. „CytoBuoy: a step forward towards using flow cytometry in operational oceanography“. *Scientia marina* 64 (2): 255–65.
48. Dufrene, Marc, i Pierre Legendre. 1997. „Species Assemblages and Indicator Species: The Need for a Flexible Asymmetrical Approach“. *Ecological monographs* 67 (3): 345–66.
49. Durante, Giulia, Alberto Basset, Elena Stanca, i Leonilde Roselli. 2019. „Allometric Scaling and Morphological Variation in Sinking Rate of Phytoplankton“. *Journal of Phycology* 55 (6): 1386–93.
50. Edler, Lars, i Malte Elbrächter. 2010. „The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis“. *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis* 110:13–20.
51. Epinoux, Alexandre. 2021. „In-situ, High-Frequency Assessment of Phytoplankton Functional Groups and Their Ecology in Diverse Marine Areas“. <https://oro.open.ac.uk/78295/>.
52. Falkowski, Paul. 2012. „Ocean Science: The power of plankton“. *Nature* 483 (7387): S17–20.
53. Falkowski, Paul G., Miriam E. Katz, Andrew H. Knoll, Antonietta Quigg, John A. Raven, Oscar Schofield, i F. J. R. Taylor. 2004. „The Evolution of Modern Eukaryotic Phytoplankton“. *Science* 305 (5682): 354–60.
54. Finkel, Zoe Vanessa. 2001. „Light absorption and size scaling of light-limited metabolism in marine diatoms“. *Limnology and oceanography* 46 (1): 86–94.
55. Finkel, Zoe V., John Beardall, Kevin J. Flynn, Antonietta Quigg, T. Alwyn V. Rees, i John A. Raven. 2010. „Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry“. *Journal of plankton research* 32 (1): 119–37.
56. Fisher, Nerissa L., i Kimberly H. Halsey. 2016. „Mechanisms that increase the growth efficiency of diatoms in low light“. *Photosynthesis research* 129 (2): 183–97.
57. Flander-Putrlle, Vesna, i Alenka Malej. 2008. „The evolution and phytoplankton composition of mucilaginous aggregates in the northern Adriatic Sea“. *Harmful algae* 7 (6): 752–61.
58. Fragoso, Glaucia Moreira, Alex James Poulton, Nicola Jane Pratt, Geir Johnsen, i

- Duncan Alastair Purdie. 2019. „Trait-based analysis of subpolar North Atlantic phytoplankton and plastidic ciliate communities using automated flow cytometer“. *Limnology and oceanography* 64 (4): 1763–78.
59. Fukao, Tsuyoshi, Katsunori Kimoto, i Yuichi Kotani. 2010. „Production of transparent exopolymer particles by four diatom species“. *Fisheries science: FS* 76 (5): 755–60.
 60. Fuks, D., I. Ivancic, M. Najdek, D. Lucic, J. Njire, J. Godrijan, D. Maric, i sur. 2012. „Changes in the Planktonic Community Structure Related to Trophic Conditions: The Case Study of the Northern Adriatic Sea“. *Journal of Marine Systems* 96-97 (kolovoz):95–102.
 61. F. Yardımcı, Ç. Esi, i A. Ertürk. 2024. *A Shap-based Analysis of Remote Sensing Indices for Marine Mucilage Detection and Mapping*.
 62. Gagat, Przemysław, Andrzej Bodoł, Paweł Mackiewicz, i John W. Stiller. 2014. „Tertiary Plastid Endosymbioses in Dinoflagellates“. U *Endosymbiosis*, uredio Wolfgang Löffelhardt, 233–90. Vienna: Springer Vienna.
 63. Galili, Tal. 2015. „dendextend: an R package for visualizing, adjusting, and comparing trees of hierarchical clustering“. *Bioinformatics*.
<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv428>.
 64. Gasiūnaitė, Z. R., A. C. Cardoso, A-S Heiskanen, P. Henriksen, P. Kauppila, I. Olenina, R. Pilkaitytė, i sur. 2005. „Seasonality of coastal phytoplankton in the Baltic Sea: Influence of salinity and eutrophication“. *Estuarine, coastal and shelf science* 65 (1): 239–52.
 65. Gašparović, Blaženka, Jelena Godrijan, Sanja Frka, Igor Tomažić, Abra Penezić, Daniela Marić, Tamara Djakovac, i sur. 2013. „Adaptation of marine plankton to environmental stress by glycolipid accumulation“. *Marine environmental research* 92:120–32.
 66. Gašparović, Blaženka, Ivna Vrana, Sanja Frka, Daniela Marić Pfannkuchen, Ivan Vlašiček, Tamara Djakovac, Ingrid Ivančić, i sur. 2023. „Paradox of relatively more phospholipids in phytoplankton in phosphorus limited sea“. *Limnology and oceanography* 68 (12): 2800–2813.
 67. Giani, Michele, Tamara Djakovac, Danilo Degobbi, Stefano Cozzi, Cosimo Solidoro, i Serena Fonda Umani. 2012. „Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea“. *Estuarine, coastal and shelf science* 115 (prosinac):1–13.
 68. Giani, Michele, Nives Ogrinc, Samo Tamše, i Stefano Cozzi. 2023. „Elevated River Inputs of the Total Alkalinity and Dissolved Inorganic Carbon in the Northern Adriatic Sea“. *WATER* 15 (veljača):1–22.
 69. Giani, Michele, Paola Sist, Daniela Berto, Gian Paolo Serrazanetti, Vittoria Ventrella, i Ranieri Urbani. 2012. „The organic matrix of pelagic mucilaginous aggregates in the Tyrrhenian Sea (Mediterranean Sea)“. *Marine chemistry* 132-133 (ožujak):83–94.

70. Gilmartin, M., D. Degobbi, N. Revelante, i N. Smolaka. 1990. „The Mechanism Controlling Plant Nutrient Concentrations in the Northern Adriatic Sea“. *Internationale Revue Der Gesamten Hydrobiologie* 75 (4): 425–45.
71. Glibert, Patricia M. 2016. „Margalef revisited: A new phytoplankton mandala incorporating twelve dimensions, including nutritional physiology“. *Harmful algae* 55 (svibanj):25–30.
72. Godrijan, Jelena, Daniela Marić, Igor Tomažić, Robert Precali, i Martin Pfannkuchen. 2013. „Seasonal phytoplankton dynamics in the coastal waters of the north-eastern Adriatic Sea“. *Journal of sea research* 77:32–44.
73. Grilli, Federica, Stefano Accoroni, Francesco Acri, Fabrizio Bernardi Aubry, Caterina Bergami, Marina Cabrini, Alessandra Campanelli, i sur. 2020. „Seasonal and Interannual Trends of Oceanographic Parameters over 40 Years in the Northern Adriatic Sea in Relation to Nutrient Loadings Using the EMODnet Chemistry Data Portal“. *Water* 12 (8). <https://doi.org/10.3390/w12082280>.
74. Gruber, Nicolas. 2008. „The marine nitrogen cycle: overview and challenges“. *Nitrogen in the marine environment* 2:1–50.
75. Grunow, A. 1863. „Ueber einige neue und ungenügend bekannte Arten und Gattungen von Diatomaceen“. *Verhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=sourcedetails&id=262163>.
76. Hadjal, Madjid, Brian B. Barnes, Lin Qi, Karlis Mikelsons, Menghua Wang, i Chuanmin Hu. 2025. „Those floating materials in the northern Adriatic Sea: Observations from satellites“. *The Science of the total environment* 984 (srpanj):179662.
77. Hallegraeff, G. M. 2004. „Manual on Harmful Marine Microalgae. 2nd revised edition“. Unesco. <https://doi.org/10.25607/OBP-1370>.
78. Harding, L. W., Jr, D. Degobbi, i Precali R. 1999. „Production and fate of phytoplankton: annual cycles and interannual variability“. U *Ecosystem at the Land-Sea Margin: Drainage Basin to Coastal Sea*, uredio T.C. Malone, A. Malej, L.W. Harding, Jr, N. Smolaka, R.E. Turner (Eds.), 55:131–72.
79. Heather, J. G. Mcmurter, R. Pick Frances, i Dan E. Kelley. 1994. „Fluorescence characteristics of a natural assemblage of freshwater picocyanobacteria“. *Journal of plankton research* 16 (8): 911–25.
80. Hillebrand, Helmut, Esteban Acevedo-Trejos, Stefanie D. Moorthi, Alexey Ryabov, Maren Striebel, Patrick K. Thomas, i Marie-Luise Schneider. 2022. „Cell size as driver and sentinel of phytoplankton community structure and functioning“. *Functional ecology* 36 (2): 276–93.
81. Hobbie, J. E., R. J. Daley, i S. Jasper. 1977. „Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy“. *Applied and environmental microbiology* 33 (5): 1225–28.

82. Hopkins, T. S., A. Artegiani, C. Kinder, i R. Pariente. 1999. „A discussion of the northern Adriatic circulation and flushing as determined from the ELNA hydrography“. *The Adriatic Sea* 32:85–106.
83. Ivančić, I., i D. Degobbi. 1987. „Mechanisms of production and fate of organic phosphorus in the northern Adriatic Sea“. *Marine biology* 94 (1): 117–25.
84. Ivančić, Ingrid, Jelena Godrijan, Martin Pfannkuchen, Daniela Marić, Blaženka Gašparović, Tamara Djakovac, i Mirjana Najdek. 2012. „Survival mechanisms of phytoplankton in conditions of stratification-induced deprivation of orthophosphate: Northern adriatic case study“. *Limnology and oceanography* 57 (6): 1721–31.
85. Ivančić, Ingrid, Martin Pfannkuchen, Jelena Godrijan, Tamara Djakovac, Daniela Marić Pfannkuchen, Marino Korlević, Blaženka Gašparović, i Mirjana Najdek. 2016. „Alkaline phosphatase activity related to phosphorus stress of microphytoplankton in different trophic conditions“. *Progress in oceanography* 146:175–86.
86. Jang, Jaeyoun, Niels Bohse Hendriksen, Hans H. Jakobsen, i Ulrich Gosewinkel. 2018. „Application of Cytosense flow cytometer for the analysis of airborne bacteria collected by a high volume impingement sampler“. *Journal of microbiological methods* 154 (studeni):63–72.
87. Johnson, Matthew D., i David J. Beaudoin. 2019. „The genetic diversity of plastids associated with mixotrophic oligotrich ciliates“. *Limnology and oceanography* 64 (5): 2187–2201.
88. Kaltenböck, Elisabeth, i Gerhard J. Herndl. 1992. „Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. IV. Dissolved nutrients and the autotrophic community associated with marine snow“. *Marine ecology progress series* 87:147–147.
89. Kassambara, Alboukadel. 2022. „ggcorrplot: Visualization of a Correlation Matrix using ,ggplot2“. <https://CRAN.R-project.org/package=ggcorrplot>.
90. Key, Tim, Avery McCarthy, Douglas A. Campbell, Christophe Six, Suzanne Roy, i Zoe V. Finkel. 2010. „Cell size trade-offs govern light exploitation strategies in marine phytoplankton“. *Environmental microbiology* 12 (1): 95–104.
91. Kilham, Peter, i Robert E. Hecky. 1988. „Comparative ecology of marine and freshwater phytoplankton“. *Limnology and oceanography* 33 (4part2): 776–95.
92. Klaveness, Dag. 1989. „Biology and Ecology of the Cryptophyceae: Status and Challenges“. *Biological Oceanography* 6 (3-4): 257–70.
93. Kooistra, Wiebe H. C. F., Diana Sarno, David U. Hernández-Becerril, Philipp Assmy, Carmen Di Prisco, i Marina Montresor. 2010. „Comparative molecular and morphological phylogenetic analyses of taxa in the Chaetocerotaceae (Bacillariophyta)“. *Phycologia* 49 (5): 471–500.

94. Kovac, Nives, Jadran Faganeli, Oliver Bajt, Boris Sket, Boris Orel, i Nunzio Penna. 2004. „Chemical composition of macroaggregates in the northern Adriatic sea“. *Organic geochemistry* 35 (10): 1095–1104.
95. Kraft, Kaisa, Lumi Haraguchi, Heidi Hällfors, Sanna Suikkanen, Pasi Ylöstalo, Sami Kielosto, Annaliina Skyttä, i sur. 2025. „Monitoring cyanobacteria blooms with complementary measurements – a similar story told using high-throughput imaging, optical sensors, light microscopy, and satellite-based methods“. *Harmful algae* 147 (kolovoz):102865.
96. Kraus, Romina, i Nastjenjka Supić. 2015. „Sea dynamics impacts on the macroaggregates: A case study of the 1997 mucilage event in the northern Adriatic“. *Progress in oceanography* 138 (studeni):249–67.
97. Kruk, Carla, Melina Devercelli, i Vera L. Huszar. 2021. „Reynolds Functional Groups: a trait-based pathway from patterns to predictions“. *Hydrobiologia* 848 (1): 113–29.
98. Kumar, Manish, Juan D. Tibocha-Bonilla, Zoltán Füßy, Chloe Lieng, Sarah M. Schwenck, Alice V. Levesque, Mahmoud M. Al-Bassam, i sur. 2024. „Mixotrophic growth of a ubiquitous marine diatom“. *Science advances* 10 (29): eado2623.
99. Kützing, Friedrich Traugott. 1844. *Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. Nordhausen: Zu finden bei W. Köhne.
100. Kužat, Nataša, Daniela Marić Pfannkuchen, Mirta Smodlaka Tanković, Ana Baričević, Ingrid Ivančić, Ivna Vrana, Blaženka Gašparović, i Martin Pfannkuchen. 2022. „Morpho-physiological adaptations of *Leptocylindrus aporus* and *L. hargravesii* to phosphate limitation in the northern Adriatic“. *Scientific reports* 12 (1): 2687.
101. Lane, Judith L., i Charles R. Goldman. 1984. „Size-fractionation of natural phytoplankton communities in nutrient bioassay studies“. *Hydrobiologia* 118 (2): 219–23.
102. Lassus, Patrick, Nicolas Chaumérat, Philipp Hess, i Elisabeth Nézan. 2015. *Toxic and harmful microalgae of the World Ocean*. International Society for the Study of Harmful Algae and the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation.
103. Lee, Chang Hwa, Jae Joong Kang, Jun-Oh Min, Hyeonji Bae, Yejin Kim, Sanghoon Park, Joonmin Kim, Dongseon Kim, i Sang Heon Lee. 2022. „Physiological characteristics of phytoplankton in response to different light environments in the Philippine Sea, Northwestern Pacific Ocean“. *Frontiers in marine science* 9 - 2022. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.930690>.
104. Legendre, P., i Loic F. J. Legendre. 2014. *Numerical Ecology*. 2. izd. Developments in Environmental Modelling 20. Elsevier Science & Technology. https://books.google.com/books/about/Numerical_Ecology.html?id=KBoHuoNRO5MC.

105. Lin, Senjie, Richard Wayne Litaker, i William G. Sunda. 2016. „Phosphorus physiological ecology and molecular mechanisms in marine phytoplankton“. *Journal of phycology* 52 (1): 10–36.
106. Lipizer, M., E. Partescano, A. Rabitti, A. Giorgetti, i A. Crise. 2014. „Qualified temperature, salinity and dissolved oxygen climatologies in a changing Adriatic Sea“. *Ocean science* 10 (5): 771–97.
107. Litchman, Elena, Paula de Tezanos Pinto, Christopher A. Klausmeier, Mridul K. Thomas, i Kohei Yoshiyama. 2010. „Linking traits to species diversity and community structure in phytoplankton“. U *Fifty years after the ‘Homage to Santa Rosalia’: Old and new paradigms on biodiversity in aquatic ecosystems*, uredio Luigi Naselli-Flores i Giampaolo Rossetti, 15–28. Dordrecht: Springer Netherlands.
108. Ljubešić, Zrinka, Sunčica Bosak, Damir Viličić, Koraljka Kralj Borojević, Daniela Marić, Jelena Godrijan, Ivana Ujević, Petra Peharec, i Tamara Đakovac. 2011. „Ecology and taxonomy of potentially toxic Pseudo-nitzschia species in Lim Bay (north-eastern Adriatic Sea)“. *Harmful algae* 10 (6): 713–22.
109. Longobardi, Lorenzo, Laurent Dubroca, Francesca Margiotta, Diana Sarno, i Adriana Zingone. 2022. „Photoperiod - driven rhythms reveal multi - decadal stability of phytoplankton communities in a highly fluctuating coastal environment“. *Scientific reports*, 1–15.
110. Lovecchio, Salvatore, Eric Climent, Roman Stocker, i William M. Durham. 2019. „Chain formation can enhance the vertical migration of phytoplankton through turbulence“. *Science advances* 5 (10): eaaw7879.
111. Luigi Naselli-Flores, i Rossella Barone. 2011. „Invited Review - Fight on Plankton! or, Phytoplankton Shape and Size as Adaptive Tools to Get Ahead in the Struggle for Life“. *Cryptogamie. Algologie* 32 (2): 157–204.
112. MacKenzie, Lincoln, Ian Sims, Veronica Beuzenberg, i Paul Gillespie. 2002. „Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman Bay, New Zealand“. *Harmful algae* 1 (1): 69–83.
113. Margalef, Ramon Ramón. 1978. „Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment“. *Oceanologica Acta* 1:493–509.
114. Marić, Daniela, Romina Kraus, Jelena Godrijan, Nastjenjka Supić, Tamara Djakovac, i Robert Precali. 2012. „Phytoplankton Response to Climatic and Anthropogenic Influences in the North-Eastern Adriatic during the Last Four Decades“. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 115 (prosina):98–112.
115. Marić, D., R. Kraus, J. Godrijan, N. Supic, T. Djakovac, i R. Precali. 2012. „Phytoplankton response to climatic and anthropogenic influences in the north-eastern Adriatic during the last four decades“. *Estuarine, coastal and shelf science* 115.
116. Marić Pfannkuchen, Daniela, Jelena Godrijan, Mirta Smolaka Tanković, Ana Baričević, Nataša Kužat, Tamara Djakovac, Emina Pustijanac, Regina Jahn, i Martin

- Pfannkuchen. 2018. „The Ecology of One Cosmopolitan, One Newly Introduced and One Occasionally Advected Species from the Genus *Skeletonema* in a Highly Structured Ecosystem, the Northern Adriatic“. *Microbial ecology* 75 (3): 674–87.
117. McFarland, Malcolm, Aditya R. Nayak, Nicole Stockley, Michael Twardowski, i James Sullivan. 2020. „Enhanced Light Absorption by Horizontally Oriented Diatom Colonies“. *Frontiers in marine science* 7. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2020.00494>.
 118. Mecozzi, Mauro, Eva Pietrantonio, Vito Di Noto, i Zsuzsa Pápai. 2005. „The humin structure of mucilage aggregates in the Adriatic and Tyrrhenian seas: hypothesis about the reasonable causes of mucilage formation“. *Marine chemistry* 95 (3): 255–69.
 119. Mentaschi, Lorenzo, Tomas Lovato, Momme Butenschön, Jacopo Alessandri, Leonardo Aragão, Giorgia Verri, Roberta Guerra, Giovanni Coppini, i Nadia Pinardi. 2024. „Projected climate oligotrophication of the Adriatic marine ecosystems“. *Frontiers in Climate* 6. <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1338374>.
 120. Mihanović, Hrvoje, Ivica Vilibić, Jadranka Šepić, Frano Matić, Zrinka Ljubešić, Elena Mauri, Riccardo Gerin, Giulio Notarstefano, i Pierre-Marie Poulain. 2021. „Observation, Preconditioning and Recurrence of Exceptionally High Salinities in the Adriatic Sea“. *Frontiers in Marine Science* 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.672210>.
 121. Montresor, Marina, Carmen Prisco, Diana Sarno, Francesca Margiotta, i Adriana Zingone. 2013. „Diversity and germination patterns of diatom resting stages at a coastal Mediterranean site“. *Marine ecology progress series* 484 (lipanj):79–95.
 122. Mozetič, Patricija, Janja Francé, Tjaša Kogovšek, Iva Talaber, i Alenka Malej. 2012. „Plankton trends and community changes in a coastal sea (northern Adriatic): Bottom-up vs. top-down control in relation to environmental drivers“. *Estuarine, coastal and shelf science* 115 (prosinac):138–48.
 123. Mozetič, Patricija, Cosimo Solidoro, Gianpiero Cossarini, Giorgio Socal, Robert Precali, Janja Francé, Franco Bianchi, Cinzia De Vittor, Nenad Smolaka, i Serena Fonda Umani. 2010. „Recent Trends Towards Oligotrophication of the Northern Adriatic: Evidence from Chlorophyll a Time Series“. *Estuaries and Coasts* 33 (2): 362–75.
 124. Mukherjee, Abhishek, Subhajit Das, Tanima Bhattacharya, Minati De, Tusharkanti Maiti, i Tarun Kumar De. 2014. „Optimization of Phytoplankton Preservative Concentrations to Reduce Damage During Long-Term Storage“. *Biopreservation and biobanking* 12 (2): 139–47.
 125. Najdek, Mirjana, Maria Blažina, Tamara Djakovac, i Romina Kraus. 2005. „The role of the diatom *Cylindrotheca closterium* in a mucilage event in the northern Adriatic Sea: coupling with high salinity water intrusions“. *Journal of plankton research* 27 (9): 851–62.
 126. Najdek, Mirjana, Danilo Debbobis, Danijela Mioković, i Ingrid Ivančić. 2002. „Fatty

acid and phytoplankton compositions of different types of mucilaginous aggregates in the northern Adriatic“. *Journal of plankton research* 24 (5): 429–441.

127. Napoléon, Camille, Virginie Raimbault, i Pascal Claquin. 2013. „Influence of Nutrient Stress on the Relationships between PAM Measurements and Carbon Incorporation in Four Phytoplankton Species“. *PloS one* 8 (6): e66423.
128. Naselli-Flores, Luigi, Tamar Zohary, i Judit Padisák. 2021. „Life in suspension and its impact on phytoplankton morphology: an homage to Colin S. Reynolds“. *Hydrobiologia* 848 (1): 7–30.
129. Neri, Francesca, Tiziana Romagnoli, Stefano Accoroni, Alessandra Campanelli, Mauro Marini, Federica Grilli, i Cecilia Totti. 2022. „Phytoplankton and environmental drivers at a long-term offshore station in the northern Adriatic Sea (1988–2018)“. *Continental shelf research* 242:104746.
130. Ninčević-Gladan, Živana, Mia Bužančić, Grozdan Kušpilić, Branka Grbec, Slavica Matijević, Sanda Skejić, Ivona Marasović, i Mira Morović. 2015. „The response of phytoplankton community to anthropogenic pressure gradient in the coastal waters of the eastern Adriatic Sea“. *Ecological indicators* 56 (rujan):106–15.
131. Ogle, Derek H., Jason C. Doll, A. Powell Wheeler, i Alexis Dinno. 2025. „FSA: Simple Fisheries Stock Assessment Methods“. <https://CRAN.R-project.org/package=FSA>.
132. Oksanen, Jari, Gavin L. Simpson, F. Guillaume Blanchet, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, i sur. 2022. „vegan: Community Ecology Package“. <https://cran.r-project.org/package=vegan>.
133. Olson, R. J., D. Vaultot, i S. W. Chisholm. 1985. „Marine phytoplankton distributions measured using shipboard flow cytometry“. *Deep-sea research. Part A, Oceanographic research papers* 32 (10): 1273–80.
134. Orlić, Mirko, Milivoj Kuzmić, i Zoran Pasarić. 1994. *Response of the Adriatic Sea to the bora and sirocco forcing*.
135. Padisák, Judit, Éva Soróczki-Pintér, i Zsuzsanna Rezner. 2003. „Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton – an experimental study“. *Hydrobiologia* 500 (1): 243–57.
136. Paerl, Hans W. 2012. „Marine Plankton“. U *Ecology of Cyanobacteria II: Their Diversity in Space and Time*, uredio Brian A. Whitton, 127–53. Dordrecht: Springer Netherlands.
137. Pahlow, Markus, Ulf Riebesell, i Dieter A. Wolf-Gladrow. 1997. „Impact of cell shape and chain formation on nutrient acquisition by marine diatoms“. *Limnology and oceanography* 42 (8): 1660–72.
138. Paytan, Adina, i Karen McLaughlin. 2007. „The Oceanic Phosphorus Cycle“. *Chemical reviews* 107 (2): 563–76.

139. Peperzak, Louis, Eva-Maria Zetsche, Stephan Gollasch, Luis Felipe Artigas, Simon Bonato, Veronique Creach, Pieter de Vré, i sur. 2020. „Comparing flow cytometry and microscopy in the quantification of vital aquatic organisms in ballast water“. *Proceedings of the Institute of Marine Engineering, Science and Technology Part A: Journal of Marine Engineering & Technology* 19 (2): 68–77.
140. Pielou, E. C. 1966. „The measurement of diversity in different types of biological collections“. *Journal of theoretical biology* 13:131–44.
141. Pierce, Richard W., i Jefferson T. Turner. 1992. „Ecology of planktonic ciliates in marine food webs“. *Rev. Aquat. Sci* 6 (2): 139–81.
142. Pierella Karlusich, Juan José, Eric Pelletier, Lucie Zinger, Fabien Lombard, Adriana Zingone, Sébastien Colin, Josep M. Gasol, i sur. 2023. „A robust approach to estimate relative phytoplankton cell abundances from metagenomes“. *Molecular ecology resources* 23 (1): 16–40.
143. Pistocchi, Rossella, Monica Cangini, Cecilia Totti, Ranieri Urbani, Franca Guerrini, Tiziana Romagnoli, Paola Sist, Simona Palamidesi, Laurita Boni, i Marinella Pompei. 2005. „Relevance of the dinoflagellate *Gonyaulax fragilis* in mucilage formations of the Adriatic Sea“. *The Science of the total environment* 353 (1): 307–16.
144. Pompei, Marinella, Cristina Mazziotti, Franca Guerrini, Monica Cangini, Silvia Pigozzi, Margherita Benzi, Simona Palamidesi, Laurita Boni, i Rossella Pistocchi. 2003. „Correlation between the presence of *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia-Romagna coast (northern Adriatic Sea)“. *Harmful algae* 2 (4): 301–16.
145. Porter, K. G., E. B. Sherr, Barry Sherr, M. Pace, i Robert Sanders. 1985. „Protozoa in planktonic food webs“. *The journal of protozoology* 32 (siječanj):409–15.
146. Precali, Robert, Michele Giani, Mauro Marini, Federica Grilli, Carla R. Ferrari, Osvin Pecar, i Elio Paschini. 2005. „Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999-2002: typology and distribution“. *The Science of the total environment* 353 (1-3): 10–23.
147. Rajadurai, M., E. H. Poornima, S. V. Narasimhan, V. N. R. Rao, i V. P. Venugopalan. 2005. „Phytoplankton growth under temperature stress: Laboratory studies using two diatoms from a tropical coastal power station site“. *Journal of thermal biology* 30 (4): 299–305.
148. R Core Team. 2023. „R: A Language and Environment for Statistical Computing“. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
149. Redfield, A. C., B. H. Ketchum, i F. A. Richards. 1963. „The Influence of Organisms on the Composition of Sea-Water“. U *The Sea*, uredio M. N. Hill, 2:26–77. New York: Interscience Publishers.
150. Redfield, Alfred C. 1934. „On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton“. *James Johnstone Memorial Volume*

92:176–92.

151. Revelante, N., i M. Gilmartin. 1976. „The Effect of Po River Discharge on Phytoplankton Dynamics in the Northern Adriatic Sea“. *Marine biology* 271 (34): 259–71.
152. Revelante, N., i M. Gilmartin. 1991. „The phytoplankton composition and population enrichment in gelatinous ‚macroaggregates‘ in the northern Adriatic during the summer of 1989“. *Journal of experimental marine biology and ecology* 146 (2): 217–33.
153. Revelante, Noelia, i Malvern Gilmartin. 1976. „Temporal succession of phytoplankton in the northern adriatic“. *Netherlands journal of sea research* 10 (3): 377–96.
154. Ricci, Fabio, Samuela Capellacci, Silvia Casabianca, Federica Grilli, Alessandra Campanelli, Mauro Marini, i Antonella Penna. 2024. „Variability of hydrographic and biogeochemical properties in the North-western Adriatic coastal waters in relation to river discharge and climate changes“. *Chemosphere* 361 (kolovoz):142486.
155. Riegman, Roel, Bouwe R. Kuipers, Anna A. M. Noordeloos, i Harry J. Witte. 1993. „Size-differential control of phytoplankton and the structure of plankton communities“. *Netherlands journal of sea research* 31 (3): 255–65.
156. Rinaldi, A., R. A. Vollenweider, G. Montanari, C. R. Ferrari, i A. Ghetti. 1995. „Mucilages in Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas, 1988–1991“. *The Science of the total environment* 165 (1): 165–83.
157. Roberts, David W. 2019. „labdsv: Ordination and Multivariate Analysis for Ecology“. <https://cran.r-project.org/package=labdsv>.
158. Rowley, Tom. 2012. „Flow Cytometry - A Survey and the Basics“. *Materials and Methods* 2 (kolovoz). <https://doi.org/10.13070/mm.en.2.125>.
159. Russo, Aniello, Simona Maccaferri, Tamara Djakovac, Robert Precali, Danilo Degobbis, Marco Deserti, Elio Paschini, i Daniel M. Lyons. 2005. „Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999–July 2002: Influence on the mucilage phenomenon“. *Mucilages in the Adriatic and Tyrrhenian Seas* 353 (1): 24–38.
160. Rutten, Thomas P. A., Ben Sandee, i Angelo R. T. Hofman. 2005. „Phytoplankton monitoring by high performance flow cytometry: A successful approach?“ Cytometry. Part A: *The journal of the International Society for Analytical Cytology* 64A (1): 16–26.
161. Sánchez-Baracaldo, Patricia. 2015. „Origin of marine planktonic cyanobacteria“. *Scientific reports* 5 (1): 17418.
162. Sanders, Howard L. 1968. „Marine Benthic Diversity: A Comparative Study“. *The American naturalist* 102 (925): 243–82.

163. Savun-hekimoglu, Başak, i Cem Gazioğlu. 2021. „Mucilage Problem in the Semi-Enclosed Seas: Recent Outbreak in the Sea of Marmara“. *International journal of environment and geoinformatics* 8 (4): 402–13.
164. Schiller, J. (josef). 1913. „Vorläufige Ergebnisse der Phytoplankton-Untersuchungen auf den Fahrten S. M. S. ‚Najade‘ in der Adria 1911/12. I. Die Coccolithophoriden“. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse* 122:597–617.
165. Sekerci, Yadigar, i Sergei Petrovskii. 2015. „Mathematical Modelling of Plankton-Oxygen Dynamics Under the Climate Change“. *Bulletin of Mathematical Biology* 77 (12): 2325–53.
166. Seppälä, Jukka. 2022. „Spectral absorption and fluorescence characteristics of the Baltic Sea phytoplankton“. ASC 2003 - L - Theme session. https://ices-library.figshare.com/articles/report/Spectral_absorption_and_fluorescence_characteristics_of_the_Baltic_Sea_phytoplankton/20584065.
167. Shannon, C. E. 1948. „A mathematical theory of communication“. *The Bell System Technical Journal* 27 (3): 379–423.
168. Sherman, Elliot, J. Keith Moore, Francois Primeau, i David Tanouye. 2016. „Temperature influence on phytoplankton community growth rates“. *Global biogeochemical cycles* 30 (4): 550–59.
169. Sieburth, John Mcn, Victor Smetacek, i Jürgen Lenz. 1978. „Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions 1“. *Limnology and oceanography* 23 (6): 1256–63.
170. Silovic, Tina, Gérald Grégori, Mathilde Dugenne, Melilotus Thyssen, François Calendreau, Thibaut Cossart, Harrie Kools, George Dubelaar, i Michel Denis. 2017. A new automated flow cytometer for high frequency in situ characterisation of heterotrophic microorganisms and their dynamics in aquatic ecosystems.
171. Simon, Nathalie, Anne-Lise Cras, Elodie Foulon, i Rodolphe Lemée. 2009. „Diversity and evolution of marine phytoplankton“. *Comptes rendus biologiques* 332 (2-3): 159–70.
172. Simpson, E. H. 1949. „Measurement of Diversity“. *Nature* 163 (4148): 688.
173. Skejić, Sanda, Blanka Milić Roje, Frano Matić, Jasna Arapov, Janja Francé, Mia Bužančić, Ana Bakrač, Maja Straka, i Živana Ninčević Gladan. 2024. „Phytoplankton Assemblage over a 14-Year Period in the Adriatic Sea: Patterns and Trends“. *Biology* 13 (7). <https://doi.org/10.3390/biology13070493>.
174. Smodlaka Tanković, Mirta, Ana Baričević, Ingrid Ivančić, Nataša Kužat, Nikola Medić, Emina Pustijanac, Tihana Novak, Blaženka Gašparović, Daniela Marić Pfannkuchen, i Martin Pfannkuchen. 2018. „Insights into the life strategy of the common marine diatom *Chaetoceros peruvianus* Brightwell“. *PloS one* 13 (9): e0203634.

175. Smodlaka Tanković, Mirta, Ana Baričević, Victor Stinga Perusco, Roland R. Melzer, Alejandro Izquierdo Lopez, Jana Sophie Dömel, Martin Heß, Nataša Kužat, Daniela Marić Pfannkuchen, i Martin Pfannkuchen. 2018. „Experimental evidence for shaping and bloom inducing effects of decapod larvae of *Xantho poressa* (Olivi, 1792) on marine phytoplankton“. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1–7.
176. Socal, Giorgio, Francesco Acri, Mauro Bastianini, Fabrizio Bernardi Aubry, Franco Bianchi, Daniele Cassin, Joan Coppola, i sur. 2008. „Hydrological and biogeochemical features of the Northern Adriatic Sea in the period 2003–2006“. *Marine ecology (Berlin, Germany)* 29 (4): 449–68.
177. Sommer, Ulrich, Evangelia Charalampous, Savvas Genitsaris, i Maria Moustaka-Gouni. 2017. „Benefits, costs and taxonomic distribution of marine phytoplankton body size“. *Journal of plankton research* 39 (3): 494–508.
178. Stachowitsch, Michael, Neda Fanuko, i Marjan Richter. 1990. „Mucus Aggregates in the Adriatic Sea: An Overview of Stages and Occurrences“. *Marine ecology (Berlin, Germany)* 11 (4): 327–50.
179. Stoecker, Diane K. 1999. „Mixotrophy among Dinoflagellates“. *The journal of eukaryotic microbiology* 46 (4): 397–401.
180. Stoecker, Diane K., Ann E. Michaels, i Linda H. Davis. 1987. „Large proportion of marine planktonic ciliates found to contain functional chloroplasts“. *Nature* 326 (6115): 790–92.
181. Supić, N., M. Orlić, i D. Degobbis. 2000. „Istrian Coastal Countercurrent and its Year-to-Year Variability“. *Estuarine, coastal and shelf science* 51 (3): 385–97.
182. Sverdrup, H. U. 1953. „On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton“. *ICES journal of marine science: journal du conseil* 18 (3): 287–95.
183. Syrski. 1872. *Sulle masse glutinose: osservate nei mesi di Gigno e Luglio 1872 nella parte settentrionale dell'Adriatico*.
184. Tang, Yuan, Masaaki Horikoshi, i Wenxuan Li. 2016. „ggfortify Unified Interface to Visualize Statistical Result of Popular R Packages“. *The R Journal*. <https://journal.r-project.org>.
185. Taylor, F. J., N. J. Taylor, i J. R. Walsby. 1985. „A Bloom of the Planktonic Diatom, *Cerataulina pelagica*, off the Coast of Northeastern New Zealand in 1983, and its Contribution to an Associated Mortality of Fish and Benthic Fauna“. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 70 (6): 773–95.
186. Thyssen, Melilotus, Gérald Grégori, Véronique Créach, Soumaya Lahbib, Mathilde Dugenne, Hedy M. Aardema, Luis-Felipe Artigas, i sur. 2022. „Interoperable vocabulary for marine microbial flow cytometry“. *Frontiers in Marine Science* 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.975877>.
187. Totti, C., G. Civitarese, F. Acri, D. Barletta, G. Candelari, E. Paschini, i A. Solazzi.

2000. „Seasonal variability of phytoplankton populations in the middle Adriatic sub-basin“. *Journal of plankton research* 22 (9): 1735–56.
188. Totti, Cecilia, Monica Cangini, Carla Ferrari, Romina Kraus, Marinella Pompei, Alessandra Pugnetti, Tiziana Romagnoli, Silvana Vanucci, i Giorgio Socal. 2005. „Phytoplankton size-distribution and community structure in relation to mucilage occurrence in the northern Adriatic Sea“. *Mucilages in the Adriatic and Tyrrhenian Seas* 353 (1): 204–17.
 189. Totti, Cecilia, Tiziana Romagnoli, Stefano Accoroni, Alessandro Coluccelli, Marco Pellegrini, Alessandra Campanelli, Federica Grilli, i Mauro Marini. 2019. „Phytoplankton communities in the northwestern Adriatic Sea: Interdecadal variability over a 30-years period (1988–2016) and relationships with meteoroclimatic drivers“. *Journal of Marine Systems* 193 (svibanj):137–53.
 190. Trask, B. J., G. J. van den Engh, i J. H. B. W. Elgershuizen. 1982. „Analysis of phytoplankton by flow cytometry“. *Cytometry* 2 (4): 258–64.
 191. Turk Dermastia, Timotej, Federica Cerino, David Stanković, Janja Francé, Andreja Ramšak, Magda Žnidarič Tušek, Alfred Beran, Vanessa Natali, Marina Cabrini, i Patricija Mozetič. 2020. „Ecological time series and integrative taxonomy unveil seasonality and diversity of the toxic diatom *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in the northern Adriatic Sea“. *Harmful algae* 93 (ožujak):101773.
 192. Umani, Serena Fonda, Elvezio Ghirardelli, i Mario Specchi. 1989. *Gli episodi di „mare sporco“ nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri*. Ufficio stampa e pubbliche relazioni della Regione Friuli-Venezia Giulia.
 193. Urbani, Ranieri, Erika Magaletti, Paola Sist, i Anna Maria Cicero. 2005. „Extracellular carbohydrates released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: Effect of P-depletion and growth status“. *The Science of the total environment* 353 (1): 300–306.
 194. Uta Passow. 2002. „Production of transparent exopolymer particles (TEP) by phyto- and bacterioplankton“. *Marine ecology progress series* 236:1–12.
 195. Utermöhl, H. 1931. „Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Plankton.(Mit besonderer Berücksichtigung des Ultraplanktons.): Mit 4 Abbildungen im Text“. *SIL Proceedings, 1922-2010* 5 (2): 567–96.
 196. Utermöhl, Hans. 1958. „Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik“. *SIL Communications, 1953-1996* 9 (1): 1–38.
 197. Vanucci, Silvana. 2003. „Do mucilage events influence pico- and nanoplankton size and structure in the Adriatic sea?“ *Chemistry in ecology* 19 (4): 299–320.
 198. Vascotto, Ivano, Fabrizio Bernardi Aubry, Mauro Bastianini, Patricija Mozetič, Stefania Finotto, i Janja Francé. 2024. „Exploring the mesoscale connectivity of phytoplankton periodic assemblages' succession in northern Adriatic pelagic habitats“. *The Science of the total environment* 913 (veljača):169814.

199. Vascotto, Ivano, Patricija Mozetič, i Janja Francé. 2021. „Phytoplankton Time-Series in a LTER Site of the Adriatic Sea: Methodological Approach to Decipher Community Structure and Indicative Taxa“. *WATER* 13 (15): 2045.
200. Vascotto, Ivano, Patricija Mozetič, i Janja Francé. 2024. „Phytoplankton morphological traits and biomass outline community dynamics in a coastal ecosystem (Gulf of Trieste, Adriatic Sea)“. *Community ecology: CE* 25 (3): 389–402.
201. Vidoudez, Charles, i Georg Pohnert. 2008. „Growth phase-specific release of polyunsaturated aldehydes by the diatom *Skeletonema marinoi*“. *Journal of plankton research* 30 (11): 1305–13.
202. Vilibić, I. 2003. „An analysis of dense water production on the North Adriatic shelf“. *Estuarine, coastal and shelf science* 56 (3): 697–707.
203. Vilibić I, Šepić J, i Proust N. 2013. „Weakening thermohaline circulation in the Adriatic Sea“. *Climate Research* 55 (3): 217–25.
204. Vilibić, Ivica, Elena Terzić, Iva Vrdoljak, Iva Dominović Novković, Martin Vodopivec, Irena Ciglencečki, Tamara Djakovac, i Bojan Hamer. 2025. „Extraordinary mucilage event in the northern Adriatic in 2024—a glimpse into the future climate?“ *Estuarine, coastal and shelf science* 317 (lipanj):109222.
205. Vilicic, Damir, Suncica Bosak, Zrinka Buric, i Katarina Caput-Mihalic. 2007. „Phytoplankton seasonality and composition along the coastal NE Adriatic Sea during the extremely low Po River discharge in 2006“. *Acta botanica Croatica* 66 (listopad):101.
206. Viličić, Damir, Tamara Djakovac, Zrinka Burić, i Sunčica Bosak. 2009. „Composition and annual cycle of phytoplankton assemblages in the northeastern Adriatic Sea“ 52 (4): 291–305.
207. Vlašiček, Ivan, Daniela Marić Pfannkuchen, Mirta Smodlaka Tanković, Ana Baričević, Nataša Kužat, Mia Knjaz, Lana Grižančić, Ivan Podolšak, Tjaša Kogovšek, i Martin Pfannkuchen. 2025. „Cluster analysis of long-term phytoplankton data from the Northern Adriatic reveals environmental influences and disruptions in seasonal patterns“. *Frontiers in ecology and evolution* 13. <https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2025.1498307>.
208. Waterbury, John B., Stanley W. Watson, Robert R. L. Guillard, i Larry E. Brand. 1979. „Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic, cyanobacterium“. *Nature* 277 (5694): 293–94.
209. Worm, Boris, Ray Hilborn, Julia K. Baum, Trevor A. Branch, Jeremy S. Collie, Christopher Costello, Michael J. Fogarty, i sur. 2009. „Rebuilding Global Fisheries“. *Science* 325 (5940): 578–85.
210. Zavatarelli, M., F. Raicich, D. Bregant, A. Russo, i A. Artegiani. 1998. „Climatological biogeochemical characteristics of the Adriatic Sea“. *Journal of*

Marine Systems 18 (1-3): 227–63.

211. Zavodnik, D. 1979. „Cruises of the research vessel ‚Vila Velebita‘ in the Kvarner region of the Adriatic Sea. I. Introduction and itinerary“. *Thalassia Jugoslavica* 15:1–19.
212. Zhang, Futing, Zuozhu Wen, Shanlin Wang, Weiyi Tang, Ya-Wei Luo, Sven A. Kranz, Haizheng Hong, i Dalin Shi. 2022. „Phosphate Limitation Intensifies Negative Effects of Ocean Acidification on Globally Important Nitrogen Fixing Cyanobacterium“. *Nature Communications* 13 (1): 6730.
213. Zhou, Quan, Wei Chen, Huiyong Zhang, Liang Peng, Liming Liu, Zhiguo Han, Neng Wan, Lin Li, i Lirong Song. 2012. „A flow cytometer based protocol for quantitative analysis of bloom-forming cyanobacteria (Microcystis) in lake sediments“. *Journal of environmental sciences* 24 (9): 1709–16.
214. Zubkov, Mikhail V., Peter H. Burkill, i Juliette N. Topping. 2007. „Flow cytometric enumeration of DNA-stained oceanic planktonic protists“. *Journal of plankton research* 29 (1): 79–86.

9. PRILOZI

Prilog 1. Popis karakterističnih svojti u svakom klasteru. Prikazane su statistički značajne ($p < 0.05$) IndVal vrijednosti. Imena klastera dobivena su prema svojti s najvišom IndVal vrijednosti u odgovarajućem klasteru.

Klaster	Svojta	Autor	IndVal	p vrijednost
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	(Castracane) Round, 1990	0.99	0.001
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Cleve, 1889	0.26	0.001
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	Brightwell, 1858	0.22	0.001
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Dictyocha fibula</i>	Ehrenberg, 1839	0.17	0.001
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Hemiaulus chinensis</i>	Greville, 1865	0.17	0.001
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Gyrodinium</i> sp.	Kofoid & Swezy, 1921	0.15	0.013
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Lauderia annulata</i>	Cleve, 1873	0.12	0.003
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros compressus</i>	Lauder, 1864	0.11	0.015

<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	Grunow, 1863	0.1	0.007
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Octactis speculum</i>	(Ehrenberg) F.H.Chang, J.M.Grieve & J.E.Sutherland , 2017	0.09	0.004
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Synedra</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1830	0.09	0.013
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Guinardia delicatula</i>	(Cleve) Hasle, 1997	0.05	0.004
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Thalassiothrix longissima</i>	Cleve & Grunow, 1880	0.04	0.045
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	0.9	0.001
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Prorocentrum micans</i>	Ehrenberg, 1834	0.16	0.019
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Tripos fusus</i>	(Ehrenberg) F.Gomez, 2013	0.12	0.046
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Ceratoperidinium falcatum</i>	(Kofoid & Swezy) Rene & Salas, 2013	0.08	0.014

<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Glenodinium mucronatum</i>	Conrad	0.07	0.041
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Protoperidinium granii</i>	(Ostenfeld) Balech, 1974	0.07	0.015
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros socialis</i>	H.S.Lauder, 1864	0.99	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros lauderi</i>	Ralfs, 1864	0.42	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros tortissimus</i>	Gran, 1900	0.36	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Guinardia striata</i>	Hensen, 1911	0.32	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Pleurosigma</i> sp.	W. Smith, 1852	0.29	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros rostratus</i>	Ralfs, 1864	0.27	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros brevis</i>	F.Schutt, 1895	0.26	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Bacteriastrum furcatum</i>	Shadbolt, 1854	0.25	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Bacteriastrum jadranum</i>	Godrijan, Maric &	0.25	0.001

		Pfannkuchen, 2012		
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	(Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	0.23	0.038
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Pseudo-nitzschia americana</i>	(Hasle) Fryxell in Hasle, 1993	0.2	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Calciosolenia murrayi</i>	Gran, 1912	0.18	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Hemiaulus hauckii</i>	Grunow ex Van Heurck, 1882	0.18	0.003
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Neomoelleria cornuta</i>	(Cleve) S.Blanco & C.E.Wetzel, 2016	0.18	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Paralia sulcata</i>	(Ehrenberg) Cleve, 1873	0.18	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Dactyliosolen phuketensis</i>	(B.G.Sundstro m) G.R.Hasle, 1996	0.16	0.001

<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Haslea wawrikan</i>	(Hustedt) Simonsen, 1974	0.16	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Entomoneis</i> sp.	Ehrenberg, 1845	0.15	0.002
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Ophiaster hydroideus</i>	(Lohmann) Lohmann, 1913	0.15	0.002
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Guinardia flaccida</i>	(Castracane) H.Peragallo, 1892	0.14	0.024
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	(Grunow) Tempere & Peragallo, 1910	0.14	0.004
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros vixvisibilis</i>	Schiller in Hustedt, 1930	0.13	0.002
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Diploneis</i> sp.	(C. G. Ehrenberg) P.T. Cleve, 1894	0.13	0.009
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros decipiens</i>	Cleve, 1873	0.12	0.047

<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	(Schultze) B.G.Sundstro m, 1986	0.12	0.002
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Bacteriastrum</i> sp.	G. Shadbolt, 1854	0.1	0.012
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	Brightwell, 1856	0.09	0.003
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros pseudodichaetus</i>	J.Ikari, 1926	0.09	0.001
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Calciopappus caudatus</i>	K.R.Gaarder & Ramsfjell, 1954	0.08	0.026
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Leptocylindrus convexus</i>	D.Nanjappa & A.Zingone, 2013	0.08	0.006
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Octactis octonaria</i>	(Ehrenberg) Hovasse, 1946	0.07	0.002
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Leptocylindrus minimus</i>	Gran, 1915	0.06	0.03
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Ophiaster formosus</i>	Gran, 1912	0.05	0.01
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Triplos setaceus</i>	(Jorgensen) F.Gomez, 2013	0.05	0.004

<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Bacteriastrum parallelum</i>	Sarno, Zingone & Marino, 1997	0.04	0.039
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros convolutus</i>	Castracane, 1886	0.04	0.047
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros tenuissimus</i>	Meunier, 1913	0.04	0.043
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Cocconeis</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1837	0.04	0.046
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	0.83	0.001
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros affinis</i>	Lauder, 1864	0.39	0.001
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros costatus</i>	Pavillard, 1911	0.14	0.001
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros amanita</i>	Cleve-Euler, 1915	0.1	0.009
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	Cleve, 1897	0.09	0.03
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros atlanticus</i>	Cleve, 1873	0.08	0.02

<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros insignis</i>	Proschkina-Lavrenko, 1955	0.06	0.03
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros anastomosans</i>	Grunow, 1882	0.05	0.045
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Cyclotella</i> sp.	(F.T. Kutzin) A. de Brebisson, 1838	0.88	0.001
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Alexandrium</i> sp.	Halim, 1960	0.15	0.002
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Ophiaster</i> sp.	Gran, 1912	0.13	0.002
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Heterocapsa</i> sp.	Massart, 1920	0.12	0.001
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Dissodinium elegans</i>	(Pavillard) Matzenauer, 1933	0.09	0.005
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Karenia</i> sp.	G.Hansen & Moestrup, 2000	0.09	0.005
<i>Cyclotella</i> sp.	Neodređeni kokolitoforidi	NA	0.08	0.008
<i>Cyclotella</i> sp.	Neodređeni dinoflagelati	NA	0.08	0.042
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Pyrophacus</i> sp.	Stein, 1883	0.06	0.005

<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Torodinium</i> sp.	Kofoed & Swezy, 1921	0.06	0.047
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Pyrocystis lunula</i>	(Schutt) Schutt, 1896	0.04	0.034
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	0.8	0.001
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Skeletonema</i> sp.	R.K. Greville, 1865	0.96	0.001
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Thalassiosira</i> sp.	P.T. Cleve, 1873 emend. Hasle, 1973	0.15	0.026
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Ditylum brightwellii</i>	(T. West) Grunow, 1885	0.14	0.003
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Protoperidinium bipes</i>	(Paulsen, 1904) Balech, 1974	0.1	0.007
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros danicus</i>	Cleve, 1889	0.06	0.049
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros perpusillus</i>	Cleve, 1897	0.06	0.026

<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkowsky, 1902	0.93	0.001
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Prorocentrum compressum</i>	(Bailey) T.H.Abe ex J.D.Dodge, 1975	0.21	0.001
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Gyrodinium fusiforme</i>	Kofoed & Swezy, 1921	0.2	0.003
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Hermesinum adriaticum</i>	Zacharias, 1906	0.18	0.002
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Prorocentrum cordatum</i>	(Ostenfeld) J.D.Dodge, 1976	0.16	0.005
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Calciosolenia brasiliensis</i>	(Lohmann) Jer.R.Young, 2003	0.14	0.002
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Rhabdolithes claviger</i>	(G.Murray & Blackman) Voeltzkow, 1902	0.1	0.013
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Oxytoxum</i> sp.	Stein, 1883	0.09	0.002
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Eutreptiella</i> sp.	A.M.Cunha, 1913	0.08	0.013

<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Scrippsiella</i> sp.	Balech ex A.R.Loeblich III, 1965	0.08	0.015
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Torodinium robustum</i>	Kofoid & Swezy, 1921	0.08	0.016
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>	(Macartney) Kofoid & Swezy, 1921	0.07	0.045
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Prorocentrum gracile</i>	F.Schutt, 1895	0.07	0.007
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Prorocentrum dactylus</i>	(Stein) Dodge, 1975	0.06	0.009
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Tripes hexacanthus</i>	(Gourret) F.Gomez, 2013	0.05	0.016
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Archaeoperidinium minutum</i>	(Kofoid) Jorgensen, 1912	0.03	0.046

Prilog 2. Popis svojti s najvišim maksimalnim brojnostima u pojedinim klasterima. Osim toga prikazane su srednje vrijednosti i standardne devijacije (SD)

Klaster	Svojta	Autor	Srednja vrijednost brojnosti	Maksimum brojnosti	SD
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	(Castracane) Round, 1990	443189	1934360	573835.4
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros compressus</i>	Lauder, 1864	101380	569800	175258.4
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	48506	301920	84714.33
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros socialis</i>	H.S.Lauder, 1864	39760	39760	NA
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros affinis</i>	Lauder, 1864	31050	133200	42390.34
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo &	29469	151940	43799.57

		M. Peragallo, 1900			
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Cleve, 1889	26371	133200	39031.93
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros costatus</i>	Pavillard, 1911	12045	32560	11414.83
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros amanita</i>	Cleve-Euler, 1915	11840	23680	8106.294
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	11747	79920	20021.87
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	294380	3870200	535588.3
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	(Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	47176	380360	125369.8
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	20759	128760	34132.72
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	18137	338920	52755.95

<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkowsky, 1902	9874	78440	17069.82
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Prorocentrum cordatum</i>	(Ostenfeld) J.D.Dodge, 1976	9683	27380	15339.33
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Chaetoceros compressus</i>	Lauder, 1864	8880	8880	NA
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	8534	59200	13446.24
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Prorocentrum balticum</i>	(Lohmann) Loeblich III, 1970	7918	77700	19416.97
<i>Cerataulina pelagica</i>	Neodređene penatne dijatomeje	NA	5536	97680	13927.02
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros socialis</i>	H.S.Lauder, 1864	309665	2186800	433028.2
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	(Castracane) Round, 1990	10273	93480	19774.53
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros tortissimus</i>	Gran, 1900	9864	31240	8377.493

<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	7751	98800	16245.77
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Phaeocystis</i> sp.	Lagerheim, 1893	7220	7220	NA
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros vixvisibilis</i>	Schiller in Hustedt, 1930	6597	21660	5984.401
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	6165	45440	10126.45
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Cleve, 1889	6108	57000	14022.24
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Skeletonema</i> sp.	R.K. Greville, 1865	5772	16150	5689.711
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros decipiens</i>	Cleve, 1873	5743	98800	20382.33
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	237951	2079400	347269
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros compressus</i>	Lauder, 1864	98420	287120	163429.5
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros insignis</i>	Proschkina-Lavrenko, 1955	24790	85840	40713.45

<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	20170	421800	87560.91
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Skeletonema</i> sp.	R.K. Greville, 1865	15540	17760	3139.554
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros amanita</i>	Cleve-Euler, 1915	14183	44400	15369.33
<i>Chaetoceros</i> sp.	Neodređene penatne dijatomeje	NA	12766	134680	30919.97
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	12739	100640	22120.57
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros affinis</i>	Lauder, 1864	12230	53900	13787.47
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros costatus</i>	Pavillard, 1911	11176	36260	11289.2
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Cyclotella</i> sp.	(F.T. Kutzinger) A. de Brebisson, 1838	58872	545280	91737.05
<i>Cyclotella</i> sp.	Neodređeni kokolitoforidi	NA	4083	7100	2680.191

<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Skeletonema</i> sp.	R.K. Greville, 1865	3313	4260	819.8374
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Prorocentrum</i> sp.	Ehrenberg, 1834	2935	5680	3882.016
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> <i>simplex</i>	Ostenfeld, 1902	2840	2840	NA
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Phaeocystis</i> sp.	Lagerheim, 1893	2840	2840	NA
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Syracosphaera</i> sp.	Lohmann, 1902	2840	2840	NA
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Heterocapsa</i> sp.	Massart, 1920	2130	4260	1229.756
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Prorocentrum</i> <i>cordatum</i>	(Ostenfeld) J.D.Dodge, 1976	2027	4260	1223.818
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Bacteriastrum</i> sp.	G. Shadbolt, 1854	1710	3040	1880.904
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	365174	8879780	890018.7
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Skeletonema</i> sp.	R.K. Greville, 1865	57203	695114	136619.1

<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> <i>curvisetus</i>	Cleve, 1889	53993	325458	93485.59
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Prorocentrum</i> <i>balticum</i>	(Lohmann) Loeblich III, 1970	47637	325600	122573.7
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	27971	525030	73104.77
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Fragilaria</i> sp.	H.C. Lyngbye, 1819	19857	44400	21676.86
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Bacteriastrum</i> <i>delicatulum</i>	Cleve, 1897	18264	119880	37949.23
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> <i>compressus</i>	Lauder, 1864	13002	71000	16039.43
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i>	(Castracane) Round, 1990	12135	162800	28683.21
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> <i>contortus</i>	Schutt, 1895	9880	9880	NA
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Skeletonema</i> sp.	R.K. Greville, 1865	889668	8898500	1677448
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Cyclotella</i> sp.	(F.T. Kutzing) A. de Brebisson, 1838	117151	873200	305879

<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	41758	1446700	181440.9
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Phaeocystis</i> sp.	Lagerheim, 1893	31950	31950	NA
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	21320	671920	84205.29
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros perpusillus</i>	Cleve, 1897	19105	83620	27439.07
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros compressus</i>	Lauder, 1864	18316	56800	23885.65
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Ditylum brightwellii</i>	(T.West) Grunow, 1885	13347	167240	34404.93
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros laciniosus</i>	F.Schutt, 1895	11360	11360	NA
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Cleve, 1889	9399	94720	18450.84
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkowsky, 1902	233613	1448400	386605
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	25438	159040	45816.98

<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	6451	42600	11368.16
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Cyclotella</i> sp.	(F.T. Kutzin) A. de Brebisson, 1838	4804	12780	4104.951
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Prorocentrum cordatum</i>	(Ostenfeld) J.D.Dodge, 1976	4626	39760	10925.2
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Chaetoceros vixvisibilis</i>	Schiller in Hustedt, 1930	4180	6650	3493.107
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	3818	7100	3151.929
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	(Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	3722	8520	3078.487
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Rhabdolithes claviger</i>	(G.Murray & Blackman) Voeltzkow, 1902	3628	15620	5135.676
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Neodređeni dinoflagelati	NA	2917	7100	3096.782

Prilog 3. Popis svojti s najvećim učestalostima pojavljivanja u uzorcima u pojedinim klasterima.

Klaster	Svojta	Autor	Učestalost
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	(Castracane) Round, 1990	1
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Neodređene penatne dijatomeje	NA	0.818182
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	0.757576
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	0.757576
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	0.636364
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Guinardia striata</i>	Hensen, 1911	0.606061
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkow sky, 1902	0.606061

<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	0.575758
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Leptocylindrus</i> sp.	P.T. Cleve in C.G.J. Petersen, 1889	0.575758
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Gyrodinium</i> sp.	Kofoed & Swezy, 1921	0.515152
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	1
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	0.691489
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	0.595745
<i>Cerataulina pelagica</i>	Neodređene penatne dijatomeje	NA	0.56383
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Proboscia alata</i>	(Brightwell) Sundstrom, 1986	0.56383

<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Prorocentrum micans</i>	Ehrenberg, 1834	0.43617
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkovsky, 1902	0.361702
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Tripos fusus</i>	(Ehrenberg) F.Gomez, 2013	0.351064
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Gymnodinium</i> sp.	F.Stein, 1878	0.265957
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Gyrodinium</i> sp.	Kofoed & Swezy, 1921	0.265957
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Leptocylindrus</i> sp.	P.T. Cleve in C.G.J. Petersen, 1889	0.265957
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros socialis</i>	H.S.Lauder, 1864	1
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Guinardia striata</i>	Hensen, 1911	0.884615
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Guinardia flaccida</i>	(Castracane) H.Peragallo, 1892	0.846154

<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	0.826923
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	(Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	0.807692
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Pleurosigma</i> sp.	W. Smith, 1852	0.807692
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Proboscia alata</i>	(Brightwell) Sundstrom, 1986	0.769231
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	0.730769
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Hemiaulus hauckii</i>	Grunow ex Van Heurck, 1882	0.711538
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	0.692308
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Chaetoceros affinis</i>	Lauder, 1864	0.692308

<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	Brightwell, 1858	0.692308
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkovsky, 1902	0.692308
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	1
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	0.886364
<i>Chaetoceros</i> sp.	Neodređene penatne dijatomeje	NA	0.772727
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Chaetoceros affinis</i>	Lauder, 1864	0.727273
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Leptocylindrus</i> sp.	P.T. Cleve in C.G.J. Petersen, 1889	0.613636
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Proboscia alata</i>	(Brightwell) Sundstrom, 1986	0.590909

<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	0.522727
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	0.522727
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Hemiaulus hauckii</i>	Grunow ex Van Heurck, 1882	0.386364
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Guinardia flaccida</i>	(Castracane) H.Peragallo, 1892	0.295455
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Gyrodinium</i> sp.	Kofoed & Swezy, 1921	0.295455
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Cyclotella</i> sp.	(F.T. Kutzing) A. de Brebisson, 1838	1
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkow sky, 1902	0.526316
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Tripos fusus</i>	(Ehrenberg) F.Gomez, 2013	0.473684

<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Gyrodinium</i> sp.	Kofoid & Swezy, 1921	0.447368
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Prorocentrum cordatum</i>	(Ostenfeld) J.D.Dodge, 1976	0.447368
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Hemiaulus hauckii</i>	Grunow ex Van Heurck, 1882	0.368421
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Prorocentrum micans</i>	Ehrenberg, 1834	0.368421
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Cylindrotheca closterium</i>	(Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	0.342105
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Proboscia alata</i>	(Brightwell) Sundstrom, 1986	0.342105
<i>Cyclotella</i> sp.	Neodredene penatne dijatomeje	NA	0.289474
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Prorocentrum triestinum</i>	J.Schiller, 1918	0.289474
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo &	1

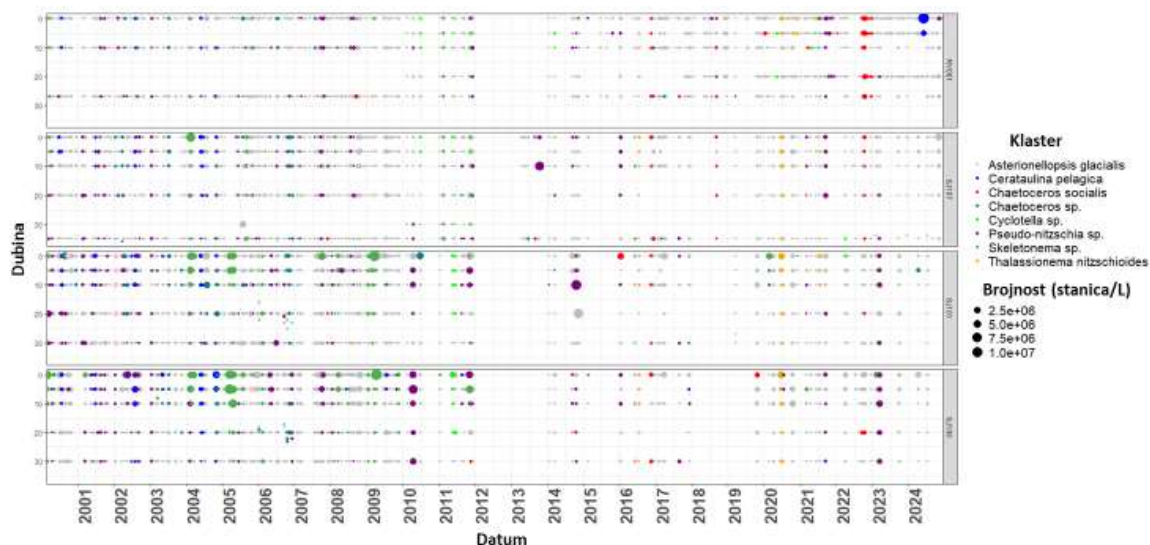
		M. Peragallo, 1900	
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	Neodređene penatne dijatomeje	NA	0.607143
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	0.584821
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Dactyliosolen</i> <i>fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	0.526786
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Proboscia alata</i>	(Brightwell) Sundstrom, 1986	0.526786
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	(Grunow) Mereschkow sky, 1902	0.46875
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	0.410714
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Leptocylindrus</i> sp.	P.T. Cleve in C.G.J. Petersen, 1889	0.392857
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Rhizosolenia</i> <i>imbricata</i>	Brightwell, 1858	0.321429

<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	<i>Gyrodinium</i> sp.	Kofoed & Swezy, 1921	0.316964
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Skeletonema</i> sp.	R.K. Greville, 1865	1
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900	0.7625
<i>Skeletonema</i> sp.	Neodređene penatne dijatomeje	NA	0.6625
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Chaetoceros</i> sp.	C.G. Ehrenberg, 1844	0.5
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	0.45625
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Thalassiosira</i> sp.	P.T. Cleve, 1873 emend. Hasle, 1973	0.3625
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	0.3125

<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkowsky, 1902	0.3125
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Cylindrotheca closterium</i>	(Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	0.28125
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Leptocylindrus</i> sp.	P.T. Cleve in C.G.J. Petersen, 1889	0.2625
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	(Grunow) Mereschkowsky, 1902	1
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Cerataulina pelagica</i>	(Cleve) Hendey, 1937	0.923077
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Proboscia alata</i>	(Brightwell) Sundstrom, 1986	0.730769
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	(Bergon) Hasle, 1996	0.653846
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Prorocentrum micans</i>	Ehrenberg, 1834	0.615385

<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Prorocentrum cordatum</i>	(Ostenfeld) J.D.Dodge, 1976	0.538462
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Gyrodinium fusiforme</i>	Kofoed & Swezy, 1921	0.5
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Tripos fusus</i>	(Ehrenberg) F.Gomez, 2013	0.461538
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	(Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964	0.423077
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Gymnodinium</i> sp.	F.Stein, 1878	0.423077
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Thalassiosira</i> sp.	P.T. Cleve, 1873 emend. Hasle, 1973	0.423077

Prilog 4. Prikaz ukupnih brojnosti mikrofitoplanktona u svim uzorcima. Boje označavaju različite klaster dok su sivom bojom označeni uzorci koji ne pripadaju niti jednom klasteru.



Prilog 5. Rezultati Kruskal - Wallisovog testa, odnosno Dunnovog *post hoc* testa. Prag značajnosti je: $p < 0.05$

Čimbenik	Kruskal p vrijednost	Usporedba klastera	Z_stat	p vrijednost	prilagođena p vrijednost
Ntra	3.40E-29	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cerataulina pelagica</i>	0.87362 1	0.382325	1
Ntra	3.40E-29	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	0.40934 5	0.682287	1
Ntra	3.40E-29	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-0.67229	0.501397	1

Ntra	3.40E-29	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-0.29593	0.767285	1
Ntra	3.40E-29	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-1.94481	0.051797	1
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-1.1057	0.268856	1
Ntra	3.40E-29	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	0.29895 6	0.764973	1
Ntra	3.40E-29	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-0.75501	0.450241	1
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-0.13138	0.895478	1
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	0.86333 5	0.387953	1
Ntra	3.40E-29	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-0.20349	0.838754	1
Ntra	3.40E-29	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-2.09655	0.036033	1

Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-1.09129	0.275147	1
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.21877 5	0.826826	1
Ntra	3.40E-29	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-0.80642	0.42	1
Ntra	3.40E-29	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-3.50368	0.000459	0.012849
Ntra	3.40E-29	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-7.79879	6.25E-15	1.75E-13
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-6.37075	1.88E-10	5.27E-09
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-6.09198	1.12E-09	3.12E-08
Ntra	3.40E-29	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-5.54515	2.94E-08	8.22E-07
Ntra	3.40E-29	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-8.23194	1.84E-16	5.16E-15

Ntra	3.40E-29	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	2.57945 5	0.009896	0.277078
Ntra	3.40E-29	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	2.66159 7	0.007777	0.217759
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	3.15895 8	0.001583	0.044334
Ntra	3.40E-29	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	4.67489 1	2.94E-06	8.24E-05
Ntra	3.40E-29	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	3.04780 5	0.002305	0.064545
Ntra	3.40E-29	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	5.25181 3	1.51E-07	4.22E-06
Ntra	3.40E-29	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	10.5422 7	5.51E-26	1.54E-24
Ntri	1.90E-30	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cerataulina pelagica</i>	2.68711 4	0.007207	0.201803

Ntri	1.90E-30	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	0.93309 1	0.350773	1
Ntri	1.90E-30	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-2.56439	0.010336	0.289399
Ntri	1.90E-30	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	1.74085 6	0.081709	1
Ntri	1.90E-30	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-1.64421	0.100133	1
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	1.16100 2	0.245641	1
Ntri	1.90E-30	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	1.05954 2	0.289353	1
Ntri	1.90E-30	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-2.11882	0.034106	0.954962
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	0.22419 2	0.822608	1
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	-0.81225	0.41665	1

Ntri	1.90E-30	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	2.52044 3	0.011721	0.32818
Ntri	1.90E-30	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-0.69972	0.484104	1
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	2.46424 4	0.01373	0.384448
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1.35873 4	0.174231	1
Ntri	1.90E-30	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1.90974	0.056167	1
Ntri	1.90E-30	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-1.79601	0.072494	1
Ntri	1.90E-30	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-8.18382	2.75E-16	7.70E-15
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-4.53814	5.68E-06	0.000159

Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-6.87309	6.28E-12	1.76E-10
Ntri	1.90E-30	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-4.32545	1.52E-05	0.000426
Ntri	1.90E-30	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-10.65	1.74E-26	4.88E-25
Ntri	1.90E-30	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	3.40950 1	0.000651	0.018223
Ntri	1.90E-30	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	1.17734 2	0.239059	1
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	3.59629 7	0.000323	0.009038
Ntri	1.90E-30	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	2.82229 8	0.004768	0.133506
Ntri	1.90E-30	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	3.08755	0.002018	0.056508

Ntri	1.90E-30	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	2.10713 8	0.035106	0.982957
Ntri	1.90E-30	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	9.17738 7	4.42E-20	1.24E-18
Amon	5.75E-18	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i>	0.78392 7	0.433083	1
Amon	5.75E-18	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i>	-1.33314	0.182484	1
Amon	5.75E-18	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i>	-3.13772	0.001703	0.047675
Amon	5.75E-18	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-0.74213	0.458008	1
Amon	5.75E-18	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-2.45268	0.01418	0.397028
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	0.98858 3	0.322867	1

Amon	5.75E-18	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-4.07536	4.59E-05	0.001286
Amon	5.75E-18	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-6.87703	6.11E-12	1.71E-10
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-3.86819	0.00011	0.00307
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	-5.10031	3.39E-07	9.49E-06
Amon	5.75E-18	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.26100 4	0.794089	1
Amon	5.75E-18	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-1.0428	0.297041	1
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	2.87979 7	0.003979	0.111421
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	2.05544 8	0.039836	1
Amon	5.75E-18	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	7.28121 9	3.31E-13	9.26E-12

Amon	5.75E-18	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-0.01722	0.986259	1
Amon	5.75E-18	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-1.46085	0.144056	1
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	2.31766 4	0.020468	0.573093
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	1.42296 3	0.154747	1
Amon	5.75E-18	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	6.64365 4	3.06E-11	8.57E-10
Amon	5.75E-18	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-0.6788	0.497262	1
Amon	5.75E-18	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-3.05755	0.002232	0.062483
Amon	5.75E-18	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-5.81436	6.09E-09	1.70E-07
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros socialis</i> -	-2.49171	0.012713	0.355968

		<i>Thalassionema nitzschioides</i>			
Amon	5.75E-18	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-3.78239	0.000155	0.004349
Amon	5.75E-18	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.65758 6	0.097401	1
Amon	5.75E-18	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-6.24069	4.36E-10	1.22E-08
Amon	5.75E-18	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-5.49855	3.83E-08	1.07E-06
Phos	5.07E-08	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cerataulina pelagica</i>	3.45726 4	0.000546	0.015279
Phos	5.07E-08	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	0.46096 8	0.644822	1
Phos	5.07E-08	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-4.43397	9.25E-06	0.000259

Phos	5.07E-08	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	2.52245 7	0.011654	0.326307
Phos	5.07E-08	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-1.65094	0.098751	1
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	3.10733 3	0.001888	0.052859
Phos	5.07E-08	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	3.49785 8	0.000469	0.013132
Phos	5.07E-08	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	0.38591 3	0.699561	1
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	4.23048 2	2.33E-05	0.000653
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	1.79427	0.07277	1
Phos	5.07E-08	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	2.82146 8	0.00478	0.133852
Phos	5.07E-08	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-1.67673	0.093594	1

Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	3.83680 5	0.000125	0.00349
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.30536 3	0.76009	1
Phos	5.07E-08	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-1.78896	0.073622	1
Phos	5.07E-08	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	1.36513 6	0.17221	1
Phos	5.07E-08	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-4.07437	4.61E-05	0.001292
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	1.39063 9	0.164335	1
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-2.39643	0.016555	0.463554
Phos	5.07E-08	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-3.75359	0.000174	0.004881
Phos	5.07E-08	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-3.51984	0.000432	0.012091

Phos	5.07E-08	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.59262 1	0.111245	1
Phos	5.07E-08	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-2.81606	0.004862	0.136127
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	1.64277 9	0.100429	1
Phos	5.07E-08	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-1.37299	0.169754	1
Phos	5.07E-08	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-2.81102	0.004938	0.138276
Phos	5.07E-08	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-1.86585	0.062062	1
Phos	5.07E-08	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.58846 6	0.55622	1
Slca	1.20E-09	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cerataulina pelagica</i>	2.39957 5	0.016414	0.459595

Slca	1.20E-09	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-0.03505	0.972044	1
Slca	1.20E-09	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-3.62027	0.000294	0.00824
Slca	1.20E-09	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	1.36505 5	0.172236	1
Slca	1.20E-09	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-1.78007	0.075065	1
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	2.13657 3	0.032633	0.913716
Slca	1.20E-09	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-0.28264	0.777456	1
Slca	1.20E-09	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-3.68429	0.000229	0.006422
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-0.34477	0.730269	1
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	-2.32256	0.020203	0.565675

Slca	1.20E-09	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1.93153 1	0.053417	1
Slca	1.20E-09	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-1.21307	0.225101	1
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	3.27329 6	0.001063	0.029764
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.97584 6	0.329141	1
Slca	1.20E-09	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	3.32319 5	0.00089	0.024918
Slca	1.20E-09	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-0.47216	0.636815	1
Slca	1.20E-09	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-5.29164	1.21E-07	3.39E-06
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-0.69649	0.486122	1

Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-3.56679	0.000361	0.010119
Slca	1.20E-09	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-0.21958	0.826197	1
Slca	1.20E-09	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-5.81753	5.97E-09	1.67E-07
Slca	1.20E-09	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	0.60565 6	0.544743	1
Slca	1.20E-09	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	-2.7319	0.006297	0.176315
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	0.93550 3	0.349529	1
Slca	1.20E-09	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	-1.16107	0.245614	1
Slca	1.20E-09	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	1.21536 3	0.224228	1

Slca	1.20E-09	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	-2.19959	0.027836	0.779413
Slca	1.20E-09	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	1.87296 6	0.061073	1
Temp	2.30E-50	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i>	-4.69718	2.64E-06	7.39E-05
Temp	2.30E-50	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i>	-3.26162	0.001108	0.031018
Temp	2.30E-50	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i>	2.01302 3	0.044112	1
Temp	2.30E-50	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-3.3792	0.000727	0.020356
Temp	2.30E-50	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	2.37359	0.017616	0.493251
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	0.07501 2	0.940205	1

Temp	2.30E-50	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-2.38416	0.017118	0.479314
Temp	2.30E-50	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	3.03202 2	0.002429	0.068018
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	1.09398 3	0.273962	1
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	1.13583 1	0.256027	1
Temp	2.30E-50	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-3.58358	0.000339	0.009489
Temp	2.30E-50	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	2.76488 3	0.005694	0.159441
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.05003 9	0.960091	1
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-0.04393	0.964962	1
Temp	2.30E-50	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-1.30624	0.191471	1

Temp	2.30E-50	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	1.30308 2	0.192547	1
Temp	2.30E-50	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	11.4184 1	3.38E-30	9.47E-29
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	7.96807 9	1.61E-15	4.51E-14
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	9.44077 7	3.70E-21	1.04E-19
Temp	2.30E-50	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	5.94976 4	2.69E-09	7.52E-08
Temp	2.30E-50	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	12.4021 9	2.54E-35	7.12E-34
Temp	2.30E-50	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-4.84825	1.25E-06	3.49E-05
Temp	2.30E-50	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-0.41884	0.675335	1
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros socialis</i> -	-2.29592	0.021681	0.60706

		<i>Thalassionema nitzschioides</i>			
Temp	2.30E-50	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-2.65051	0.008037	0.225039
Temp	2.30E-50	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-3.25585	0.001131	0.031655
Temp	2.30E-50	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-3.01715	0.002552	0.071446
Temp	2.30E-50	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-10.9483	6.77E-28	1.90E-26
Psal	2.07E-15	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cerataulina pelagica</i>	2.89698 3	0.003768	0.105496
Psal	2.07E-15	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-1.79389	0.07283	1
Psal	2.07E-15	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-7.13826	9.45E-13	2.65E-11

Psal	2.07E-15	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	0.61776 9	0.536727	1
Psal	2.07E-15	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-3.92276	8.75E-05	0.002451
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	3.87296	0.000108	0.003011
Psal	2.07E-15	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	3.26815 1	0.001083	0.030311
Psal	2.07E-15	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	0.80277 8	0.422103	1
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	7.04803 9	1.81E-12	5.08E-11
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	4.18448 5	2.86E-05	0.0008
Psal	2.07E-15	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1.58486 9	0.112996	1
Psal	2.07E-15	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-2.87603	0.004027	0.112758

Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	6.01336 1	1.82E-09	5.09E-08
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1.91840 9	0.055059	1
Psal	2.07E-15	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-3.27196	0.001068	0.029905
Psal	2.07E-15	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	1.66552 4	0.095808	1
Psal	2.07E-15	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-2.5422	0.011016	0.308443
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	5.93750 3	2.89E-09	8.10E-08
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	2.00950 2	0.044484	1
Psal	2.07E-15	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-3.00471	0.002658	0.074434
Psal	2.07E-15	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	0.26844 9	0.788353	1

Psal	2.07E-15	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	2.87800 5	0.004002	0.112056
Psal	2.07E-15	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.07470 4	0.94045	1
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	6.85072 8	7.35E-12	2.06E-10
Psal	2.07E-15	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	3.75253 6	0.000175	0.004902
Psal	2.07E-15	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	-0.70199	0.482686	1
Psal	2.07E-15	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	2.72166 4	0.006495	0.181871
Psal	2.07E-15	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema nitzschioides</i>	2.43121 3	0.015048	0.421354
Doxy	5.93E-24	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cerataulina pelagica</i>	-2.19313	0.028298	0.792339

Doxy	5.93E-24	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	-1.77986	0.075099	1
Doxy	5.93E-24	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros socialis</i>	0.82274 8	0.410651	1
Doxy	5.93E-24	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	-0.58791	0.556591	1
Doxy	5.93E-24	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	3.26724 3	0.001086	0.030408
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Chaetoceros</i> sp.	2.51129 5	0.012029	0.336809
Doxy	5.93E-24	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	-1.53321	0.125224	1
Doxy	5.93E-24	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	1.18951 3	0.234238	1
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Cyclotella</i> sp.	0.41995 8	0.674516	1
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Cyclotella</i> sp.	-1.92664	0.054025	1

Doxy	5.93E-24	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-1.61353	0.106629	1
Doxy	5.93E-24	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	1.58435 6	0.113113	1
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.60909 5	0.542462	1
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-2.62929	0.008556	0.239581
Doxy	5.93E-24	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	0.04796 1	0.961747	1
Doxy	5.93E-24	<i>Asterionellopsis glacialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-4.08825	4.35E-05	0.001217
Doxy	5.93E-24	<i>Cerataulina pelagica</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-3.81442	0.000137	0.003822
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros socialis</i> - <i>Skeletonema</i> sp.	-5.11935	3.07E-07	8.58E-06

Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-8.88748	6.25E-19	1.75E-17
Doxy	5.93E-24	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-5.25617	1.47E-07	4.12E-06
Doxy	5.93E-24	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Skeletonema</i> sp.	-8.65794	4.80E-18	1.35E-16
Doxy	5.93E-24	<i>Asterionellopsis</i> <i>glacialis</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	-1.25759	0.208539	1
Doxy	5.93E-24	<i>Cerataulina</i> <i>pelagica</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	1.85617 2	0.063429	1
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros</i> <i>socialis</i> - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	1.06158 9	0.288422	1
Doxy	5.93E-24	<i>Chaetoceros</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	-1.44184	0.149348	1
Doxy	5.93E-24	<i>Cyclotella</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	0.57824 9	0.563096	1

Doxy	5.93E-24	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	0.72626 4	0.467677	1
Doxy	5.93E-24	<i>Skeletonema</i> sp. - <i>Thalassionema</i> <i>nitzschoides</i>	6.6301	3.35E-11	9.39E-10

Prilog 6. Popis svojti nađenih objema metodama: svjetlosnom mikroskopijom i analizom kolekcija mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa.

Svojta	Srednja vrijednost brojnosti	Razred
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	135154	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros wighami</i>	50537	Bacillariophyceae
<i>Skeletonema</i> sp.	49248	Bacillariophyceae
Neodređeni kriptofiti	45320	Cryptophyceae
<i>Chaetoceros</i> sp.	35328	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros tenuissimus</i>	24140	Bacillariophyceae
<i>Phaeocystis</i> sp.	21680	Prymnesiophyceae
<i>Gephyrocapsa huxleyi</i>	21596	Prymnesiophyceae
<i>Chaetoceros socialis</i>	21105	Bacillariophyceae
Neodređeni dinoflagelati	21064	Dinophyceae

<i>Chaetoceros compressus</i>	17793	Bacillariophyceae
Neodređene kloroficeje	16456	Chlorophyceae
<i>Leptocylindrus</i> sp.	12033	Bacillariophyceae
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	11412	Bacillariophyceae
<i>Prorocentrum cordatum</i>	10145	Dinophyceae
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	9484	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	8821	Bacillariophyceae
<i>Prorocentrum dentatum</i>	7422	Dinophyceae
<i>Gymnodinium</i> sp.	6891	Dinophyceae
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	6597	Bacillariophyceae
<i>Leptocylindrus convexus</i>	6486	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros affinis</i>	6261	Bacillariophyceae
<i>Bacteriastrum jadrantum</i>	6152	Bacillariophyceae
<i>Cerataulina pelagica</i>	5081	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros vixvisibilis</i>	4645	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros diversus</i>	4586	Bacillariophyceae
<i>Leptocylindrus minimus</i>	4571	Bacillariophyceae
<i>Neomoelleria cornuta</i>	4479	Bacillariophyceae

<i>Cyclotella</i> sp.	4351	Bacillariophyceae
<i>Amphidinium</i> sp.	4260	Dinophyceae
<i>Prorocentrum triestinum</i>	4260	Dinophyceae
<i>Gyrodinium</i> sp.	3924	Dinophyceae
<i>Cylindrotheca closterium</i>	3884	Bacillariophyceae
Neodređeni kokolitoforidi	3507	Prymnesiophyceae
<i>Chaetoceros decipiens</i>	3248	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros tortissimus</i>	3125	Bacillariophyceae
<i>Rhabdosphaera tignifer</i>	3098	Prymnesiophyceae
<i>Bacteriastrum</i> sp.	2924	Bacillariophyceae
<i>Calciopappus caudatus</i>	2569	Prymnesiophyceae
<i>Chaetoceros simplex</i>	2367	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros brevis</i>	2246	Bacillariophyceae
<i>Ophiaster hydroideus</i>	2229	Prymnesiophyceae
<i>Ceratoperidinium falcatum</i>	2090	Dinophyceae
<i>Oxytoxum variabile</i>	2083	Dinophyceae
<i>Chaetoceros didymus</i>	2022	Bacillariophyceae
<i>Syracosphaera pulchra</i>	1954	Prymnesiophyceae

<i>Proboscia alata</i>	1946	Bacillariophyceae
Neodređene dijatomeje	1868	Bacillariophyceae
Neodređeni euglenofiti	1841	Euglenoidea
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	1839	Bacillariophyceae
<i>Calciosolenia murrayi</i>	1838	Prymnesiophyceae
<i>Bacteriastrum furcatum</i>	1802	Bacillariophyceae
<i>Alexandrium</i> sp.	1798	Dinophyceae
<i>Paralia sulcata</i>	1720	Bacillariophyceae
<i>Prorocentrum balticum</i>	1686	Dinophyceae
<i>Chaetoceros thronsenii</i>	1598	Bacillariophyceae
<i>Prorocentrum</i> sp.	1491	Dinophyceae
<i>Guinardia striata</i>	1479	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros danicus</i>	1437	Bacillariophyceae
<i>Dactyliosolen mediterraneus</i>	1413	Bacillariophyceae
<i>Gonyaulax fragilis</i>	1348	Dinophyceae
<i>Hemiaulus chinensis</i>	1237	Bacillariophyceae
Neodređene penatne dijatomeje	1186	Bacillariophyceae

<i>Bacteriastrum mediterraneum</i>	1140	Bacillariophyceae
<i>Protoperidinium diabolus</i>	1110	Dinophyceae
<i>Oxytoxum</i> sp.	947	Dinophyceae
<i>Dinobryon</i> sp.	910	Chrysophyceae
<i>Pachysphaera</i> sp.	904	Prasinophyceae
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	904	Bacillariophyceae
<i>Dactyliosolen phuketensis</i>	866	Bacillariophyceae
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	856	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros lauderi</i>	797	Bacillariophyceae
<i>Chrysochromulina parkeae</i>	773	Prymnesiophyceae
<i>Oxytoxum sphaeroideum</i>	710	Dinophyceae
<i>Oxytoxum caudatum</i>	708	Dinophyceae
<i>Scrippsiella</i> sp.	658	Dinophyceae
<i>Thalassiosira</i> sp.	655	Bacillariophyceae
<i>Bacteriastrum parallelum</i>	652	Bacillariophyceae
<i>Pseudo-nitzschia americana</i>	592	Bacillariophyceae
<i>Lioloma pacificum</i>	556	Bacillariophyceae

<i>Lauderia annulata</i>	524	Bacillariophyceae
<i>Diplopsalis</i> kompleks	512	Dinophyceae
<i>Hemiaulus hauckii</i>	505	Bacillariophyceae
<i>Diploneis</i> sp.	474	Bacillariophyceae
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	471	Dinophyceae
<i>Pleurosigma</i> sp.	436	Bacillariophyceae
<i>Calciosolenia brasiliensis</i>	416	Prymnesiophyceae
<i>Entomoneis</i> sp.	368	Bacillariophyceae
<i>Dictyocha fibula</i>	333	Dictyochophyceae
<i>Ditylum brightwellii</i>	320	Bacillariophyceae
<i>Prorocentrum micans</i>	311	Dinophyceae
<i>Triplos setaceus</i>	298	Dinophyceae
<i>Prorocentrum compressum</i>	278	Dinophyceae
<i>Octactis octonaria</i>	266	Dictyochophyceae
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	212	Dinophyceae
<i>Protoperidinium</i> sp.	201	Dinophyceae
<i>Chaetoceros pseudodichaetus</i>	200	Bacillariophyceae
<i>Guinardia flaccida</i>	199	Bacillariophyceae

<i>Asteromphalus heptactis</i>	199	Bacillariophyceae
<i>Meringosphaera mediterranea</i>	190	Xanthophyceae
<i>Oxytoxum adriaticum</i>	190	Dinophyceae
<i>Tripos furca</i>	171	Dinophyceae
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	169	Bacillariophyceae
<i>Dactyliosolen blavyanus</i>	169	Bacillariophyceae
<i>Torodinium robustum</i>	150	Dinophyceae
<i>Dinophysis sp.</i>	137	Dinophyceae
<i>Tripos fusus</i>	130	Dinophyceae
<i>Gonyaulax polygramma</i>	123	Dinophyceae
<i>Chaetoceros tetrastichon</i>	120	Bacillariophyceae
<i>Eucampia zoodiacus</i>	120	Bacillariophyceae
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	114	Bacillariophyceae
<i>Dinophysis acuminata</i>	106	Dinophyceae
<i>Octactis speculum</i>	100	Dictyochophyceae
<i>Prorocentrum dactylus</i>	90	Dinophyceae
<i>Tripos trichoceros</i>	82	Dinophyceae
<i>Licmophora sp.</i>	80	Bacillariophyceae
<i>Trieres mobiliensis</i>	80	Bacillariophyceae

<i>Protoperidinium oceanicum</i>	78	Dinophyceae
<i>Gonyaulax</i> sp.	72	Dinophyceae
<i>Triadinium polyedricum</i>	70	Dinophyceae
<i>Kofooidinium velleloides</i>	68	Dinophyceae
<i>Tripos horridus</i>	64	Dinophyceae
<i>Karenia</i> sp.	40	Dinophyceae
<i>Lingulodinium polyedra</i>	40	Dinophyceae
<i>Polykrikos hartmannii</i>	40	Dinophyceae
<i>Thalassionema</i> sp.	40	Bacillariophyceae
<i>Tripos macroceros</i>	40	Dinophyceae
<i>Tripos</i> sp.	40	Dinophyceae

Prilog 7. Popis svojti nađenih samo pomoću svjetlosne mikroskopije te njihove srednje vrijednosti brojnosti.

Svojta	Srednja vrijednost brojnosti	Razred
<i>Oscillatoria</i> sp.	17290	Cyanobacteria
<i>Prorocentrum vaginula</i>	1957	Dinophyceae
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	1954	Bacillariophyceae
<i>Grammatophora oceanica</i>	1525	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros clavigerus</i>	1520	Bacillariophyceae
Neodređene Chrysophyceae	1420	Chrysophyceae
<i>Nitzschia gobbi</i>	1420	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros rostratus</i>	1215	Bacillariophyceae
<i>Azadinium</i> sp.	1027	Dinophyceae
<i>Acanthoica quattrospina</i>	852	Prymnesiophyceae
<i>Ophiaster</i> sp.	773	Prymnesiophyceae
<i>Mesoporos perforatus</i>	651	Dinophyceae

<i>Chaetoceros messanensis</i>	538	Bacillariophyceae
<i>Surirella</i> sp.	450	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros borealis</i>	380	Bacillariophyceae
<i>Dinophysis fortii</i>	380	Dinophyceae
<i>Karenia mikimotoi</i>	380	Dinophyceae
<i>Protoperidinium ovum</i>	380	Dinophyceae
<i>Chaetoceros eibenii</i>	376	Bacillariophyceae
<i>Protoperidinium bipes</i>	366	Dinophyceae
<i>Chaetoceros densus</i>	340	Bacillariophyceae
<i>Chaetoceros rudis</i>	320	Bacillariophyceae
<i>Eutreptiella</i> sp.	285	Euglenoidea
<i>Meuniera membranacea</i>	285	Bacillariophyceae
<i>Protoperidinium conicum</i>	270	Dinophyceae
<i>Lithodesmium undulatum</i>	240	Bacillariophyceae

<i>Detonula pumila</i>	230	Bacillariophyceae
<i>Karenia brevis</i>	217	Dinophyceae
<i>Protoperidinium steinii</i>	192	Dinophyceae
<i>Campylodiscus</i> sp.	190	Bacillariophyceae
<i>Gonyaulax spinifera</i>	190	Dinophyceae
<i>Melosira</i> sp.	190	Bacillariophyceae
<i>Oxytoxum laticeps</i>	190	Dinophyceae
<i>Prorocentrum gracile</i>	190	Dinophyceae
<i>Protoperidinium breve</i>	190	Dinophyceae
<i>Pseudo-nitzschia galaxiae</i>	190	Bacillariophyceae
<i>Striatella unipunctata</i>	190	Bacillariophyceae
<i>Torodinium teredo</i>	190	Dinophyceae
<i>Tripos pentagonus</i>	190	Dinophyceae
<i>Protoperidinium pellucidum</i>	160	Dinophyceae

<i>Dinophysis parvula</i>	155	Dinophyceae
<i>Protoperidinium tuba</i>	153	Dinophyceae
<i>Amphora</i> sp.	140	Bacillariophyceae
<i>Pronoctiluca spinifera</i>	140	Dinophyceae
<i>Dinophysis ovum</i>	130	Dinophyceae
<i>Protoperidinium granii</i>	130	Dinophyceae
<i>Amphiprora</i> sp.	125	Bacillariophyceae
<i>Podolampas palmipes</i>	125	Dinophyceae
<i>Chaetoceros dadayi</i>	120	Bacillariophyceae
<i>Noctiluca scintillans</i>	105	Dinophyceae
<i>Haslea wawrikan</i>	94	Bacillariophyceae
<i>Coscinodiscus</i> sp.	80	Bacillariophyceae
<i>Podolampas</i> sp.	78	Dinophyceae
<i>Protoperidinium crassipes</i>	78	Dinophyceae

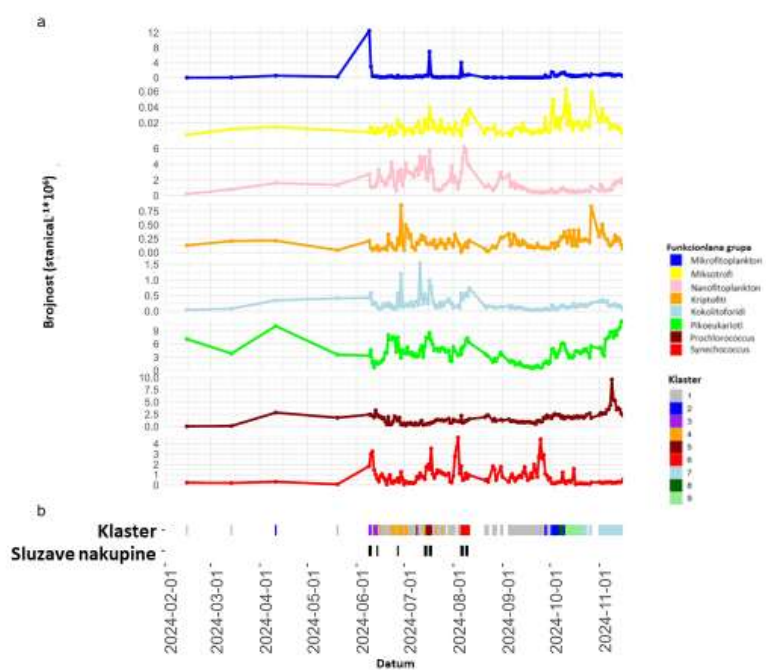
<i>Triplos extensus</i>	60	Dinophyceae
<i>Triplos massiliensis</i>	60	Dinophyceae
<i>Synedra</i> sp.	56	Bacillariophyceae
<i>Triplos muelleri</i>	55	Dinophyceae
<i>Proboscia indica</i>	44	Bacillariophyceae
<i>Dinophysis caudata</i>	40	Dinophyceae
<i>Dinophysis mitra</i>	40	Dinophyceae
<i>Neocalyptrella robusta</i>	40	Bacillariophyceae
<i>Protoperidinium cerasus</i>	40	Dinophyceae
<i>Protoperidinium depressum</i>	40	Dinophyceae
<i>Protoperidinium globulus</i>	40	Dinophyceae
<i>Pyrophacus</i> sp.	40	Dinophyceae
<i>Rhizosolenia castracanei</i>	40	Bacillariophyceae
<i>Toxarium undulatum</i>	40	Bacillariophyceae
<i>Triplos azoricus</i>	40	Dinophyceae

<i>Tripes candelabrus</i>	40	Dinophyceae
<i>Tripes carriensis</i>	40	Dinophyceae
<i>Tripes declinatus</i>	40	Dinophyceae
<i>Tripes lineatus</i>	40	Dinophyceae
<i>Tripes minutus</i>	40	Dinophyceae
<i>Tripes symmetricus</i>	40	Dinophyceae

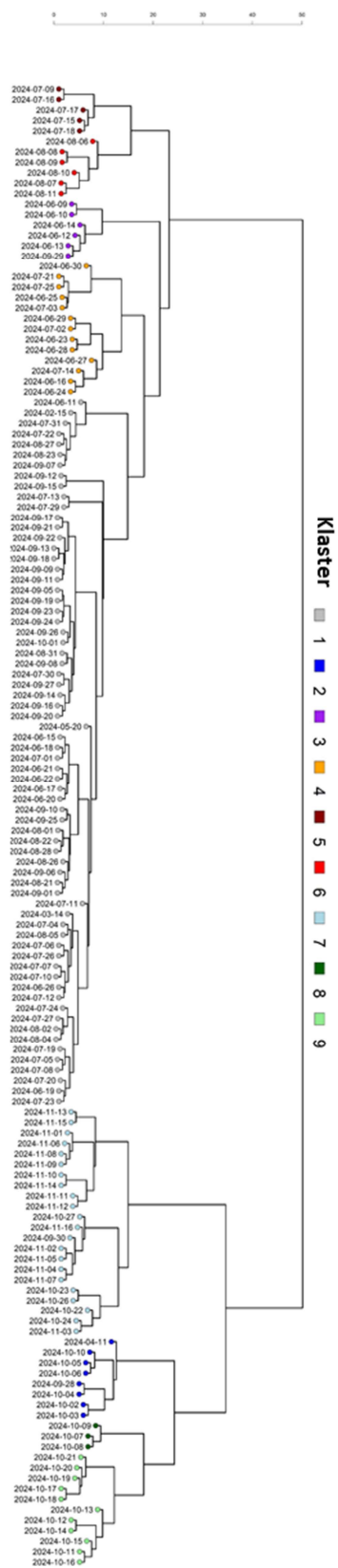
Prilog 8. Popis svojti nađenih samo na kolekcijama mikrofotografija protočnog citometra sa zapisom pulsa.

Svojta	Razred
Azadinium caudatum	Dinophyceae
Cochlodinium sp.	Dinophyceae
CYANOPHYCEAE undeterm.	Cyanobacteriia
Dactyliosolen sp.	Bacillariophyceae
HAPTOPHYCEAE undeterm.	Prymnesiophyceae
Nanophytoplankton	Nanophytoplankton
Phalacroma sp.	Dinophyceae
Warnowia sp.	Dinophyceae

Prilog 9. Ukupne brojnosti pojedinih funkcionalnih grupa dobivene protočnom citometrijom sa zapisom pulsa.



Prilog 10. Rezultat klaster analize uzoraka. Klasteri se temelje na raznolikosti svojti zabilježenih na kolekcijama mikrofotografija.



10. ŽIVOTOPIS

Ivan Vlašiček rođen je 12. siječnja 1996. godine u Virovitici. Osnovnu školu završio je u Pitomači, a potom i prirodoslovno-matematički smjer u Gimnaziji Petra Preradovića u Virovitici. Godine 2017. stekao je titulu sveučilišnog prvostupnika biologije, a 2019. magistrirao je biologiju, smjer znanstveni, na Odjelu za biologiju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Od 2020. godine zaposlen je kao asistent u Laboratoriju za evolucijsku ekologiju Centra za istraživanje mora u Rovinju (Institut Ruđer Bošković), pod vodstvom dr. rer. nat. Martina Pfannkuchena. Godine 2021. upisao je Interdisciplinarni doktorski studij oceanologije na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod mentorstvom dr. sc. Daniele Marić Pfannkuchen.

Sudjelovao je u sljedećim znanstvenim i stručnim projektima:

Referentni centar za more (voditelj projekta u CIM-u: dr. rer. nat. Martin Pfannkuchen), 2019. – 2024.

HRZZ projekt – Adri LIFE: Molekularne životne strategije fitoplanktona u Jadranu (UIP-2020-02-6878; voditeljica: dr. sc. Daniela Marić Pfannkuchen), 2021. – 2026.

Interreg Italija – Hrvatska: projekt CASCADE (voditeljica WP2 paketa: dr. sc. Daniela Marić Pfannkuchen), 2020. – 2022.

Interreg Italija – Hrvatska: projekt ADRICLIM (voditeljica: dr. sc. Ana Baričević), 2020. – 2022.

Interreg Italija – Hrvatska: projekt MARLES (voditeljica: dr. sc. Mirta Smodlaka Tanković), 2020. – 2022.

Horizon 2020 projekt: JERICO-S3 (voditelj: dr. rer. nat. Martin Pfannkuchen), 2020. – 2024.

ALIENA Interreg Italy-Croazia, ALigning Efforts to control Non-indigenous species in the Adriatic sea (voditeljica radnog paketa: dr. sc. Daniela Marić Pfannkuchen), 2024. - 2026.

BRIGANTINE Interreg Italy-Croatia , Chemico-physical and multispectral Data fusion for Adriatic sea monitoring by autonomous vessel, suradnik, 2024. - 2026.

Hrvatske vode – Sustavno ispitivanje kakvoće prijelaznih i priobalnih voda sjevernog Jadrana (voditeljica: dr. sc. Tamara Đakovac), 2020.

Hrvatske vode – Sustavno ispitivanje stanja prijelaznih i priobalnih voda te voda u područjima podložnima eutrofikaciji na sjevernom Jadranu (voditeljica: dr. sc. Tamara Đakovac), 2021.

Hrvatske vode – Sustavno ispitivanje stanja prijelaznih i priobalnih voda te voda u područjima podložnima eutrofikaciji na sjevernom Jadranu (voditeljica: dr. sc. Tamara Đakovac), 2022.

Hrvatske vode – Sustavno ispitivanje stanja prijelaznih i priobalnih voda te voda u područjima podložnima eutrofikaciji na sjevernom Jadranu (voditeljica: dr. sc. Tamara Đakovac), 2023.

Hrvatske vode – Sustavno ispitivanje stanja prijelaznih i priobalnih voda te voda u područjima podložnima eutrofikaciji na sjevernom Jadranu (voditeljica: dr. sc. Tamara Đakovac), 2024.

Hrvatske vode – Sustavno ispitivanje kakvoće prijelaznih i priobalnih voda od 2025. do 2027. godine na području sjevernog Jadrana (voditeljica: dr. sc. Tamara Đakovac), 2025. -2027.

2024-2026 ALEINA Interreg Italy-Croatia, ALIgning Efforts to control Non-indigenous species in the Adriatic sea, suradnik voditelj radnog paketa: dr.sc. Daniela Marić Pfannkuchen

Prvi je autor na jednoj, a koautor na 5 znanstvenih publikacija, sudjelovao je na 18 izlaganja na skupovima, od toga na dvama kao prvi autor. Koautor je na jednom kratkom priopćenju.

11. ZNANSTVENA AKTIVNOST I PUBLIKACIJE

Prilog u časopisu (Izvorni znanstveni rad):

1. Vlašiček, Ivan; Marić Pfannkuchen, Daniela; Smodlaka Tanković, Mirta; Baričević, Ana; Kužat, Nataša; Knjaz, Mia; Grižančić, Lana; Podolšak, Ivan; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin

Cluster analysis of long-term phytoplankton data from the Northern Adriatic reveals environmental influences and disruptions in seasonal patterns // *Frontiers in ecology and evolution*, 13 (2025), 1498307, 15. doi: 10.3389/fevo.2025.1498307

2. Baričević, Ana; Kogovšek, Tjaša; Smodlaka Tanković, Mirta; Grižančić, Lana; Knjaz, Mia; Vlašiček, Ivan; Podolšak, Ivan; Kužat, Nataša; Pfannkuchen, Martin; Marić Pfannkuchen, Daniela

Coastal Eukaryotic Plankton Diversity of the Southern Adriatic as Revealed by Metabarcoding // *Diversity*, 16 (2024), 5; 293, 19. doi: 10.3390/d16050293

3. Knjaz, Mia; Baričević, Ana; Smodlaka Tanković, Mirta; Kužat, Nataša; Vlašiček, Ivan; Grižančić, Lana; Podolšak, Ivan; Pfannkuchen, Martin; Kogovšek, Tjaša; Marić Pfannkuchen, Daniela

First regional reference database of northern Adriatic diatom transcriptomes // *Scientific reports*, 14 (2024), 16209, 18. doi: 10.1038/s41598-024-67043-4

4. Gašparović, Blaženka; Vrana Špoljarić, Ivna; Frka Milosavljević, Sanja; Marić Pfannkuchen, Daniela; Vlašiček, Ivan; Đakovac, Tamara; Ivančić, Ingrid; Smodlaka Tanković, Mirta; Milinković, Andrea; Flanjak, Lana et al.

Paradox of relatively more phospholipids in phytoplankton in phosphorus limited sea // *Limnology and oceanography*, 68 (2023), 12; 2800-2813. doi: 10.1002/lno.12464

5. Grižančić, Lana; Baričević, Ana; Smodlaka Tanković, Mirta; Vlašiček, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin; Marić Pfannkuchen, Daniela

A metabarcode based (species) inventory of the northern Adriatic phytoplankton // *Biodiversity data journal*, 11 (2023), e106947, 50. doi: 10.3897/BDJ.11.e106947

6. Mlinarić, Selma ; Gvozdić, Vlatka ; Vuković, Ana ; Varga, Martina ; Vlašiček, Ivan ; Cesar, Vera ; Begović, Lidija
The Effect of Light on Antioxidant Properties and Metabolic Profile of Chia Microgreens // Applied sciences (Basel), 10 (2020), 17; 5731, 13. doi: 10.3390/app10175731

Kratko priopćenje:

1. Baričević, Ana; Marić Pfannkuchen, Daniela; Smolaka Tanković, Mirta; Knjaz, Mia; Vlašiček, Ivan; Grižančić, Lana; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin
Identification of the heterotrophic nanoflagellate *Bilabrum latius* in the southern Adriatic (Mediterranean Sea) // European journal of protistology, 90 (2023), 125999, 9. doi: 10.1016/j.ejop.2023.125999

Prilog sa skupa (u zborniku, kratko priopćenje):

1. Marić Pfannkuchen, Daniela; Baričević, Ana; Smolaka Tanković, Mirta; Kužat, Nataša; Vlašiček, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Grižančić, Lana; Vrana, Ivna; Ujević, Ivana et al.
Genus *Pseudo-nitzschia*: The physiology of success in a highly structures and dynamic phytoplankton ecosystem // 20th International Conference on Harmful Algae, ICHA 2023 : HAB Science and Human Well-being : Abstract book.
Hiroshima, Japan: International Society for the Study of Harmful Algae (ISSHA), 2023. str. 160-160

Sažetak izlaganja sa skupa:

1. Grižančić, Lana; Baričević, Ana; Smolaka Tanković, Mirta; Vlašiček, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin; Marić Pfannkuchen, Daniela;
Net or Niskin: sampling method most suitable for the northern Adriatic phytoplankton monitoring // AquaEcOmics meeting: exploring aquatic ecology through omics. March 17-20, 2025. Program and abstracts booklet / AquaEcOmics meeting (ur.).
Entrepôt-Catalogue Recherche Data Gouv, 2025, 1

2. Baričević, Ana; Smolaka Tanković, Mirta; Marić Pfannkuchen, Daniela; Kogovšek, Tjaša; Grižančić, Lana; Vlašiček, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Pfannkuchen, Martin

Omics in the service of characterising the eukaryotic plankton community in the Adriatic Sea
// AquaEcOmics meeting: exploring aquatic ecology through omics. March 17-20, 2025.
Program and abstracts booklet / AquaEcOmics meeting (ur.).
Entrepôt-Catalogue Recherche Data Gouv, 2025. str. 79-80

3. Vlašićek, Ivan; Knjaz, Mia; Smodlaka Tanković, Mirta; Baričević, Ana; Kogovšek, Tjaša; Grižančić, Lana; Podolšak, Ivan; Kužat, Nataša; Pfannkuchen, Martin; Daniela Marić Pfannkuchen

Cluster analysis reveals different HAB-related species assemblages in the northern Adriatic // 20th International Conference on Harmful Algae, ICHA 2023 : HAB Science and Human Well-being : Abstract book.

Hiroshima, Japan: International Society for the Study of Harmful Algae (ISSHA), 2023. str. 25-25

4. Pfannkuchen, Martin; Baričević, Ana; Smodlaka Tanković, Mirta; Kužat, Nataša; Vlašićek, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Grižančić, Lana; Kogovšek, Tjaša; Marić Pfannkuchen, Daniela;

The ecology of *Ostreopsis ovata* spreading along the rocky coast of the eastern Adriatic // 20th International Conference on Harmful Algae, ICHA 2023 : HAB Science and Human Well-being : Abstract book.

Hiroshima, Japan: International Society for the Study of Harmful Algae (ISSHA), 2023. str. 251-251

5. Baričević, Ana; Smodlaka Tanković, Mirta; Marić Pfannkuchen, Daniela; Kogovšek, Tjaša; Grižančić, Lana; Vlašićek, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Hervat, Martina; Pfannkuchen, Martin;

Brijuni National Park (Adriatic Sea, Croatia) phytoplankton biodiversity assessment // "Scientific Opportunities for a Global Algal Revolution" : Program and Book of Abstracts of the 8th European Phycological Congress / Connan, Solène; Creis, Emeline; Jacquemin, Bertrand et al. (ur.).

Brest: Federation of European Psychological Societies (FEPS), 2023. str. 202-202

6. Grižančić, Lana; Baričević, Ana; Marić Pfannkuchen, Daniela; Smodlaka Tanković, Mirta; Kogovšek, Tjaša; Vlašićek, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Pfannkuchen, Martin

A metabarcode based (species) inventory of the northern Adriatic phytoplankton // "Scientific Opportunities for a Global Algal Revolution" : Program and Book of Abstracts of the 8th European Phycological Congress / Connan, Solène; Creis, Emeline; Jacquemin,

Bertrand et al. (ur.).

Brest: Federation of European Psychological Societies (FEPS), 2023. str. 215-216

7. Barac, Monika; Smolaka Tanković, Mirta; Marić Pfannkuchen, Daniela; Kužat, Nataša; Baričević, Ana; Vlašiček, Ivan; Fornažar, Marija; Grižančić, Lana; Pfannkuchen, Martin
Distribution of phytoplankton community at LTER Rovinj, Croatia station (northern Adriatic Sea) // Abstracts of the Online International Diatom Symposium / Jordan, Richard; Shinya, Sato (ur.).

Yamagata: International Society for Diatom Research, 2021. str. 57-57

8. Fornažar, Marija; Smolaka Tanković, Mirta; Kužat, Nataša; Baričević, Ana; Marić Pfannkuchen, Daniela; Vlašiček, Ivan; Barac, Monika; Grižančić, Lana; Pfannkuchen, Martin
Morphological and physiological responses to phosphorus deficiency by marine diatoms belonging to the genera *Thalassionema*, *Thalassiosira* and *Synedra* // Abstracts of the Online International Diatom Symposium / Jordan, Richard; Shinya, Sato (ur.).

Yamagata: International Society for Diatom Research, 2021. str. 24-24

9. Vlašiček, Ivan; Marić Pfannkuchen, Daniela; Frleta, Roberta; Kužat, Nataša; Baričević, Ana; Smolaka Tanković, Mirta; Fornažar, Marija; Barac, Monika; Grižančić, Lana; Pfannkuchen, Martin
Physiological adaptations of *Chaetoceros danicus* to phosphate limited environmental conditions // Abstracts of the Online International Diatom Symposium / Jordan, Richard; Shinya, Sato (ur.).

Yamagata: International Society for Diatom Research, 2021. str. 98-98

10. Grižančić, Lana; Baričević, Ana; Marić Pfannkuchen, Daniela; Kužat, Nataša; Vlašiček, Ivan; Smolaka Tanković, Mirta; Barac, Monika; Fornažar, Marija; Pfannkuchen, Martin
Barcoding 130 diatom cultures for the 130 years anniversary // Abstracts of the Online International Diatom Symposium / Jordan, Richard; Shinya, Sato (ur.).

Yamagata: International Society for Diatom Research, 2021. str. 104-104

11. Antunović Dunić, Jasenka ; Vlašiček, Ivan ; Cesar, Vera
Učinkovitost fotosinteze u listovima duhana (*Nicotiana tabacum* L.) tijekom razvoja // Zbornik sažetaka.

Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2020. str. 95-96

Prilog sa skupa (u časopisu, sažetak izlaganja sa skupa):

1. Pfannkuchen, Martin; Baričević, Ana; Smolaka Tanković, Mirta; Grižančić, Lana; Vlašiček, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Kogovšek, Tjaša; Marić Pfannkuchen, Daniela
Genomics in coastal oceanography // Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 75, S1, 2024. str. 79-79

2. Knjaz, Mia; Baričević, Ana; Smolaka Tanković, Mirta; Kužat, Natasa; Vlašiček, Ivan; Grižančić, Lana; Podolšak, Ivan; Pfannkuchen, Martin; Kogovšek, Tjaša; Marić Pfannkuchen, Daniela
First regional reference database of northern Adriatic diatom transcriptomes // Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 75, S1, 2024. str. 32-32

3. Grižančić, Lana; Baričević, Ana; Smolaka Tanković, Mirta; Vlašiček, Ivan; Knjaz, Mia; Podolšak, Ivan; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin; Marić Pfannkuchen, Daniela
Marine environmental DNA metabarcoding for northern Adriatic phytoplankton monitoring // Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 75, S1, 2024. str. 128-128

Prilog sa skupa (neobjavljen):

1. Knjaz, Mia; Baričević, Ana; Grižančić, Lana; Vlašiček, Ivan; Podolšak, Ivan; Smolaka Tanković, Mirta; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin; Marić Pfannkuchen, Daniela
Molecular characterization of the northern Adriatic (Mediterranean Sea) diatom community - the comprehensive approach // Molecular Life of Diatoms 7
San Diego (CA), Sjedinjene Američke Države, 16.07.2023-20.07.2023

2. Smolaka Tanković, Mirta; Baričević, Ana; Marić Pfannkuchen, Daniela; Knjaz, Mia; Vlašiček, Ivan; Grižančić, Lana; Podolšak, Ivan; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin
Insights into the life strategies of marine diatoms from the genus Chaetoceros // Molecular Life of Diatoms 7
San Diego (CA), Sjedinjene Američke Države, 16.07.2023-20.07.2023

3. Marić Pfannkuchen, Daniela; Grižančić, Lana; Baričević, Ana; Knjaz, Mia; Vlašiček, Ivan; Podolšak, Ivan; Smodlaka Tanković, Mirta; Kogovšek, Tjaša; Pfannkuchen, Martin
The ecology of genetic diversity in the northern Adriatic Sea // Molecular Life of Diatoms 7
San Diego (CA), Sjedinjene Američke Države, 16.07.2023-20.07.2023

Ocjenski radovi (diplomski rad, sveučilišni):

1. Vlašiček, Ivan

Fotosinteza tijekom razvoja listova duhana (*Nicotiana tabacum* L.) / Cesar, Vera ; Antunović Dunić, Jasenka (mentor).

Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, 2019

Ocjenski radovi (završni rad, sveučilišni):

1. Vlašiček, Ivan

Antioksidativna aktivnost vrste *Salvia hispanica* L. / Cesar, Vera (mentor); Begović, Lidija (neposredni voditelj) .

Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, 2017