

Priloga 1: Vsebinsko poročilo – študija

Vpliv okoljskega stresa na zdravje in prirastek školjk ter izboljšave vzrejnih praks zaradi mikroplastike in podnebnih sprememb

Impact of environmental stress on mussel health and recruitment, and improvements in farming practices due to microplastics and climate change

Andreja Ramšak¹, Manca Kovač Viršek^{1,2}, Janja France¹, Patricija Mozetič¹, Nataša Sirnik², Tine Bizjak², Uroš Robič²

¹Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 121, 1000 Ljubljana

²Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ulica 6, 1000 Ljubljana

Financerji:



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO,
GOZDARSTVO IN PREHRANO



Javna agencija za znanstvenoraziskovalno
in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije

Povzetek

Školjkarstvo v EU predstavlja tretjino proizvodnje v akvakulturi in še zdaleč ne zadošča potrebam, kar sili EU v uvoz školjk iz drugih držav (Čile in Kitajska). Gojitev školjk je bila v Evropi največja konec 90-tih let 20. stoletja in je znašala 600.000 ton, nato pa v letu 2016 upadla na 480.000 ton. Razlogi za upad gojitve so: bolezní školjk, škodljiva cvetenja alg, pomanjkanje mladíc v naravi, plenilci, vplivi podnebnih sprememb, onesnaževanje okolja, majhen zaslužek in pomanjkanje prostora. Slovensko školjkarstvo je najmanjše v EU in ga pestijo enaki problemi. Cilj projekta je bil analizirati nekatere vzroke (segrevanje morja in onesnaževanje z mikroplastiko) in njihove posledice ter priprava izhodišč, ki bodo v pomoč školjkarjem in odločevalcem za prilagoditev vzrejnih praks v slovenskem morju, ki je zelo podvrženo antropogenim vplivom (segrevanje morja in onesnaževanje). Za oceno stanja smo analizirali obstoječe podatkovne nize okoljskih parametrov (temperatura morja, slanost, koncentracije hranilnih snovi in raztopljenega kisika) in fitoplanktonske združbe (koncentracija klorofila a, številčnost in sestava). Analiza teh podatkov je omogočila oceno pomembnih sprememb v okolju, npr. porast temperature morja, nihanja razpoložljivih hranilnih snovi, ki so vplivale na spremembe v biomasi in dinamiki fitoplanktonske združbe. Ker je fitoplankton osnova prehrane školjk, imajo spremembe v biomasi in dinamiki fitoplanktonske združbe velik vpliv na gojitev školjk. Ovrednotili smo obstoječe in pridobili nove podatke o mikroplastiki na školjčičih ter ocenili vpliv plastične gojitvene infrastrukture na klapavice. Opravili smo analize biomarkerskih testov, da smo dobili vpogled v fiziološko stanje klapavic. Opravili smo podrobno analizo sedanjih gojitvenih praks, pridobili podatke o gojenju školjk neposredno od školjkarjev ter jih interpretirali s statističnimi podatki o gojenju ter objavili znanstveni članek v reviji *Aquaculture Reports* (Ramšak in sod., 2024). Slovensko školjkarstvo je izjemno majhen sektor v katerem prevladuje gojenje klapavic, občutljiva oskrbna veriga temelji na školjkarjih od školjčičišča do prodaje. Gojenje klapavic je od vzpostavitve v 70-tih letih do leta 2019 naraščalo, nakar je izrazito upadlo. V zgodnjem obdobju so bili omejujoči dejavniki razpoložljiv prostor za školjčičišča in občasna cvetenja toksičnih alg, v zadnjih letih pa je na upad gojitve vplivalo plenjenje orad in ploskih črvov v školjčičiščih in stres zaradi visokih temperatur morja. V zadnjem desetletju so školjkarji začeli z gojitvijo ladink in ostrig, ki so zahtevnejše za gojitev, a bolj donosne. Školjkarji so potrebna strokovna znanja večinoma pridobivali sami, zato je kot šibkost sektorja nujno izpostaviti pomanjkanje formalnih znanj, slab prenos znanja ter pomanjkanje inovacij in majhna diverzifikacija dejavnosti. Kljub temu pa veliko povpraševanje po školjkah, kratka oskrbna veriga, zaupanje potrošnikov in odjemalcev daje panogi odpornost na nihanja na trgu. Školjkarji si želijo premestitve školjčičišč v območje z globljo vodo, kjer so temperature morske vode ugodnejše in je prisotnih manj plenilcev. Vendar je potrebno upoštevati možne konflikte v rabi morja, ki lahko nastanejo s profesionalnimi in rekreativnimi ribiči, navtičnim turizmom in pomorskim prometom ter varovanjem okolja.

Ključne besede: marikultura, *Mytilus galloprovincialis*, Tržaški zaliv, segrevanje morja, planktonske združbe, mikroplastika, biomarkerji, ekofiziologija, toplotni stres

Abstract

Mussel farming in the EU accounts for one-third of aquaculture but remains insufficient to meet demand, forcing the EU to import mussels from countries such as Chile and China. Mussel farming in Europe peaked in the late 1990s at 600,000 tonnes, then declined to 480,000 tonnes in 2016. Reasons for this decline include mussel diseases, harmful algal blooms, a lack of juveniles in the wild, predators, the effects of climate change, environmental pollution, low profits, and limited space. Slovenian mussel farming is the smallest in the EU and faces the same challenges. The aim of the project was to analyse some of the causes (sea warming and microplastic pollution) and their consequences, and to prepare guidelines to help mussel farmers and decision-makers adapt their farming practices in the Slovenian sea, which is highly susceptible to anthropogenic influences such as sea warming and pollution. To assess the situation, we analysed existing data sets of environmental parameters (sea temperature, salinity, concentrations of nutrients and dissolved oxygen) and phytoplankton communities (chlorophyll a concentration, abundance, and composition). Analysis of these data enabled us to assess significant changes in the environment (e.g. sea temperature increase, fluctuations in available nutrients) that affected biomass and phytoplankton community dynamics. As phytoplankton is the basis of mussel nutrition, changes in biomass and phytoplankton community also have a major impact on mussel farming. We evaluated existing data and obtained new data on microplastics in mussel farms and assessed the impact of plastic infrastructure at the mussel farm on mussels. We performed biomarker tests to gain insight into the physiological condition of mussels. We conducted a detailed analysis of current farming practices, obtained data on mussel farming directly from mussel farmers, interpreted it with statistical data on farming, and published a scientific article in the journal *Aquaculture Reports* (Ramšak et al., 2024). Slovenian mussel farming is an extremely small sector dominated by Mediterranean mussel farming, with a sensitive supply chain based on mussel farmers from the mussel farm to the point of sale. Mussel farming grew from its inception in the 1970s until 2019, after which it declined significantly. In the early days, limiting factors were the availability of space for mussel farms and occasional blooms of toxic algae, but in recent years, the decline in farming has been influenced by predation from sea bream and flatworms in mussel farms and stress due to high sea temperatures. In the last decade, mussel farmers have started farming Venus clams and oysters, which are more difficult to farm but more profitable. Mussel farmers have mostly acquired the necessary expertise on their own, so the sector's weaknesses include a lack of formal knowledge, low knowledge transfer, a lack of innovation, and little diversification of activities. Nevertheless, high demand for mussels, a short supply chain, and consumer and customer confidence make the industry resilient to market fluctuations. Mussel farmers would like to relocate their mussel farms to deeper waters, where sea temperatures are more favourable and there are fewer predators. However, it is necessary to consider possible conflicts in the use of the sea that may arise with

professional and recreational fishermen, nautical tourism, maritime transport, and environmental protection.

Key words: mariculture, *Mytilus galloprovincialis*, Gulf of Trieste, marine warming, planktonic communities, microplastics, biomarkers, ecophysiology, thermal stress

1. Opis problema in ciljev

Zaradi prekomernega izkoriščanja ribolovnih virov je marikultura izjemno pomembna panoga, ki naj bi nadomestila izpad ribolova. Pridelava v svetovni akvakulturi (v celinskih vodah in morju) od leta 2012 presega ribolov (FAO, 2019). Akvakultura je na svetovni ravni najhitreje rastoči sektor v pridelavi hrane. Svetovna gojitev školjk je naraščala od leta 1950 do leta 2016, ko je dosegla višek, ocenjen na 3,4 milijarde evrov. Kar 94% školjk na svetovnem trgu izvira iz akvakulture. Žal optimizem in napredek nista prisotna v EU in še manj v Sloveniji, kjer je samooskrba nezadostna. Gojitev školjk je bila v Evropi največja konec 90-tih let 20. stoletja in je znašala 600.000 ton, nato pa je leta 2016 upadla na 480.000 ton z ocenjeno vrednostjo 420 milijonov evrov. Školjkarstvo v EU predstavlja tretjino pridelave v akvakulturi in še zdaleč ne zadosti potrebam na trgu, kar sili EU v uvoz školjk iz Čila in Kitajske ter drugih azijskih držav. V svetovnem merilu akvakultura v EU prispeva manj kot 4 % od skupnih 80 Mt proizvodov (FAO, 2018), kar pomeni, da mora EU uvoziti 68 % proizvodov iz akvakulture, da zadosti potrebam na svojem tržišču (Avdelas in sod., 2021). Prehranska negotovost se je še povečala zaradi upada ribolova (Froese in sod. 2018). EU je prepoznala potrebo po večji prehranski varnosti s proizvodi iz akvakulture in s tem tudi po večji proizvodnji, kar je tudi zapisano v Resoluciji Evropskega parlamenta (European Parliament resolution P8_TA(2018)0248). Trajnostna rast v sektorju akvakulture se odraža v zaposlovanju, uravnoveženem trgovanju in zagotavljanju prehranske varnosti ob visokih standardih, ki jih morajo dosegati proizvajalci v EU. Vendar se mora za dosego trajnostne rasti sektor akvakulture spopasti z nekaterimi velikimi izzivi, kot so i.) velika konkurenca med uporabniki prostora in pri pridobivanju dovoljenj; ii.) prilagajanje dinamiki na svetovnem in EU tržišču (nizke cene in velika nihanja); iii.) spopadanje z okoljskimi grožnjami in omejitvami (Ferreira in sod., 2020).

SWOT analiza, opravljena v EU (vključena je bila tudi Slovenija), je kot glavne slabosti v sektorju izpostavila nizko ceno školjk, razdrobljenost sektorja, pomanjkanje prostora za širitev ter težave pri pridobivanju dovoljenj. K nizki ceni prispeva uvoz cenejših školjk iz drugih držav, kot je Čile, ki pokriva tretjino vsega uvoza v EU (Globefish, 2018, Labarta in Fernandez Reiriz, 2019).

Sredozemska klapavica (*Mytilus galloprovincialis*) je najpomembnejša vrsta v školjkarstvu, tudi v slovenskem, tako po pridelani masi školjk kot po površini, na kateri jih gojijo (FAO, 2019). Prav tako je ena najbolj preučenihi školjk z vidika poznavanja fizioloških sprememb ter odzivov na onesnaženje. Optimalne temperature za rast sredozemske klapavice so od 14 do 20 °C (Beyer in sod., 2017). Trenutno je v Sredozemskem morju 51 % dni v letu primernih za rast klapavic, glede na scenarija RCP 4.5 ali RCP 8.5 pa se bo število primernih dni zmanjšalo na

47 % oz. 43 % dni v letu. Območja v zahodnem Sredozemlju in Egejskem morju ter ob obali Turčije bodo po obeh scenarijih ostala podobno primerna za gojitev kot v sedanosti, saj se bodo v tem območju površine, ki ne bodo primerne za gojenje zmanjšale za okoli 10 %. Najbolj bodo prizadeta območja na severu Sredozemskega morja, kamor sodi tudi Jadransko morje. Glede na način gojitve je ogroženo gojenje na kolih in na plavajočih linijah. Segrevanje morja bo povzročilo manjši prirastek in manjšo velikost školjk ob pobiranju, zmanjšali se bodo tudi prihodki (Martinez Cubillo in sod., 2021).

Treba je poudariti, da na podrobnejši skali, kot je severno Jadransko morje, kamor spada tudi slovensko morje, nimamo natančnejših napovedi za akvakulturo. Glede na geografske značilnosti in do sedaj zabeležene trende temperature morske vode (Tintore in sod., 2019) lahko predvidevamo, da se bodo razmere za školjkarstvo poslabšale, kar bo zahtevalo prilagoditve v sektorju. Obstaja veliko možnosti za prilagajanje akvakulture podnebnim spremembam, od preprostih sprememb upravljanja (kot so spremembe gostote naselitve, obdobja pobiranja, časa gojitve in prehrane) do kompleksnih inženirskih ali biotehnoloških rešitev (npr. selektivni rejski programi in molekularna selekcija za odbiranje in pridobitev lastnosti, ki nudijo odpornost na stresorje), vendar je za školjkarstvo teh rešitev na voljo bistveno manj, če se ohranijo sedanje gojitvene prakse (Reid in sod., 2019). Novi pristopi bodo morali temeljiti na možnih spremembah v gojitvenih praksah in na izboljšanih fizioloških odzivih gojenih organizmov ob spreminjanju abiotičnih in biotičnih pogojev.

Školjke so pritrjeni filtratorski organizmi, ki prefiltrirajo velike količine vode in v njej suspendiranih delcev. Najpomembnejša hrana školjk je fitoplankton, ki je bil v zadnjih desetletjih v severnem Jadranu podvržen velikim spremembam v biomasi in sestavi (Brush in sod. 2021). V nekdanjem zelo produktivnem severnem Jadranu je na začetku 21. stoletja biomasa fitoplanktona močno upadla, opažen pa je bil tudi premik velikostne sestave fitoplanktona k prevladi manjših vrst (Mozetič in sod. 2010, Flander-Putrlle in sod., 2022). Zaradi neselektivnega načina prehranjevanja školjke zadržujejo tudi strupene vrste fitoplanktona, ki lahko povzročajo različne simptome pri ljudeh (Francé in sod. 2013), pa tudi najrazličnejša onesnažila (Bajt in sod., 2019). V lupini in mesu školjk se kopičijo zlasti tiste kemikalije, ki so obstojne in težko razgradljive, vključno z mikroplastiko v nekaterih tkivih. Klapavice so zaradi velike geografske razširjenosti zelo primerne za spremljanje mikroplastike v morskem okolju. Ker so školjke pomemben člen v morskih prehranjevalnih spletih, prispevajo k prenosu biotoksinov in onesnažil na višje trofične nivoje.

Cilj projekta je bil pripraviti izhodišča, ki bodo v pomoč školjkarjem in odločevalcem pri prilagajanju gojitvenih praks v spreminjajočem se okolju severnega Jadrana (Tržaški zaliv), ki je močno izpostavljen različnim antropogenim vplivom (segrevanje morja, onesnaževanje).

Zato smo:

1. analizirali obstoječe podatkovne nize okoljskih parametrov (temperatura morja, slanost, koncentracije hranilnih snovi, raztopljenega kisika in klorofila a),
2. analizirali posledice sprememb v fitoplanktonskih združbah, ki so pomembne za školjke,
3. analizirali fiziološko stanje školjk v školjčičišču z biomarkerji stresa in kondicijskimi indeksi ter spremljali njihov prirastek,

4. analizirali obstoječe in pridobili nove podatke o mikroplastiki na školjčičih ter ovrednotili vpliv plastične gojitvene infrastrukture na školjke.

2. Povzetek ključnih ugotovitev iz literature

Padec v gojitvi školjk je povzročil zaskrbljenost v celotni oskrbni verigi, od pridelovalcev do predelovalne industrije in trgovine. Raziskave, opravljene v zadnjih letih, so bile osredotočene na vzroke, ki omejujejo gojitev školjk v EU. Med najpomembnejše vzroke sodijo bolezni školjk, škodljiva cvetenja alg, pomanjkanje mladice v naravi, plenilci, onesnaževanje okolja in s tem povezana slaba kakovost vode, vplivi podnebnih sprememb (predvsem segrevanje morja in vremenske ujme), nizek zaslužek kot ekonomski vzrok in pomanjkanje prostora za školjčičišča (Philippart in sod., 2011). Slednje zaradi vse večjega števila dejavnosti na morju predstavlja problem v več evropskih državah (Španija, Italija, Grčija, Nemčija, Portugalska, Slovenija in Velika Britanija ter Irska; FAO, 2019, Avdelas in sod., 2021). Veliko smrtnost mladice in njihovo slabo kvaliteto pripisujejo ravno posledicam podnebnih sprememb, katerih učinek je že močno viden v pridelavi v Španiji, Italiji, Nizozemskem, Grčiji (Capelle in sod., 2021).

Poleg številnih okoljskih omejitev so podnebne spremembe tiste, ki že zdaj izjemno vplivajo na školjkarstvo, še večji vpliv pa bodo imele nanj v bližnji prihodnosti (od 20 do 30 let) ter dolgoročno (od 50 do 100 let). Temperatura vode je ključni dejavnik, ki vpliva na fiziologijo in ekologijo organizmov (Bayne 2017) ter na privzem onesnažil v organizem (Hylland in sod., 2017). Antropogeno povzročeno segrevanje vodnih okolij in z njim povezane spremembe padavinskega režima imajo neposredne in posredne vplive na akvakulturo, kot so povečano pojavljanje bolezni ter spremembe v fiziologiji, prirastku in izkoristku krme (Khan in sod., 2020). Segrevanje morij povzroča spremembe v vrstni sestavi planktonskih združb in dinamiki pojavljanja, kar vpliva na prirastek školjk v ekstenzivnih odprtih sistemih, vpliva na razmnoževalni potencial gojenih vrst, medtem ko cvetenja toksičnih alg povzročijo izpad dohodka zaradi zastrupitev školjk z biogenimi toksini in prepovedjo prodaje (Catalán in sod., 2019; Reid in sod., 2019). Omenjene posledice podnebnih sprememb imajo lahko ugodne, neugodne ali celo nevtralne učinke na akvakulturo, ki se lahko pojavijo v krajšem ali daljšem časovnem obdobju z večjim ali manjšim prostorskim obsegom (Barange in sod. 2018).

Učinki povišane temperature v okolju niso vedno negativni, saj se lahko sezona rasti podaljša, rast pospeši, pozimi pa se zmanjša smrtnost, ker temperature niso prenizke. Vendar moramo biti pri takšnih predvidevanjih izjemno pazljivi in jih ovrednotiti glede na geografsko regijo, biološko vrsto in način gojitve (Weatherdon in sod., 2016). Potencialno negativni vidiki vključujejo: i.) premik optimalnega območja za gojitev določenih vrst glede na temperaturni optimum vrste, ii.) znižanje koncentracije raztopljenega kisika v vodnem stolpcu, iii.) spremembe biomase in vrstne sestave fitoplanktona, (iv) intenzivnost in pogostost neviht (Bouwer 2019), v.) vse večjo škodo na infrastrukturi (Reid in sod. 2019), vi.) pobege in introgresijo vrst ter vii.) spremembe v oknu prekrivanja med gostiteljem in patogenom, ki lahko spremenijo naravo in pogostost pojavov bolezni (Jennings in sod. 2016).

Predvidevanja, kje in v kakšnem obsegu se bodo te spremembe zgodile, so izjemno zahtevna, tudi zaradi reakcijskih norm gojenih vrst. Kljub temu so raziskovalci pripravili scenarije učinka povišanja temperatur na najpogosteje gojene ekonomsko pomembne vrste rib (*Salmo salar*, *Sparus aurata*, *Dicentrarchus labrax*) in školjk (*Magallana gigas* (prej *Crassostrea gigas*), *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*). V teh scenarijih so se osredotočili na fiziološke spremembe v organizmih, pričakovani prirastek, okoljski odtis in ekonomski vpliv glede na velikost farme. Uporabljeni scenariji zajemajo zmerno situacijo (IPCC RCP 4.5) in ekstremno situacijo (IPCC RCP 8.5) ter prikazujejo, kakšne učinke bo imel porast temperature glede na regijo in vrsto, ki jo gojijo v akvakulturi (za več podrobnosti glej Martinez Cubillo in sod., 2021, ter spletni portal META <https://longline.co.uk/meta/List>).

Proizvodnja plastičnih izdelkov se hitro povečuje, zato je onesnaževanje s plastiko eno najpomembnejših sodobnih okoljskih vprašanj. Letna svetovna proizvodnja plastičnih materialov je približno 300 milijonov ton, pri čemer kar 10 % plastike na leto konča v morjih, kamor jo večinoma prinesejo reke. Plastični odpadki zaradi vplivov UV sevanja ter mehanskih vplivov vetra in valov v morju razpadejo na majhne delce, t. i. mikroplastiko. Plastika pogosto vsebuje dodatke za izboljšanje mehanskih lastnosti, prožnosti, vzdržljivosti, stabilnosti in barve. Preperevanje in razgradnja plastičnih materialov povzročata izpiranje teh spojin v morskovo vodo, organizmi pa mikroplastiko pogosto zaužijejo in se tako dodatno kontaminirajo (Cole in sod., 2011).

Študije o prisotnosti mikroplastike v številnih vrstah mehkužcev so že bile izvedene na različnih lokacijah po svetu. Školjke rodu *Mytilus* so bile zaradi množične uporabe v prehrani največkrat predmet raziskav o vsebnosti mikroplastike. Tako kot pri ribah v rečnih ekosistemih so bila tudi pri školjkah dokazali korelacijo med vsebnostjo mikroplastike v školjkah in okoliškimi vodami (Zhang in sod., 2022). Koncentracije mikroplastike se med študijami razlikujejo. Študije, opravljene v evropskih morjih na školjkah rodu *Mytilus*, poročajo o 0 – 12 delcih na osebek (Wakkaf in sod., 2020; Renzi in sod., 2018; Gedik in Eryasar, 2020; Digka in sod., 2018). V večini študij prevladujejo delci iz PE in PP (Phuong in sod., 2018; Gomeiro in sod., 2019). Najpogostejša je mikroplastika v obliki filamentov, ki izvirajo iz tekstila (Bráte in sod., 2018), pri čemer pomemben delež predstavljajo polimeri na osnovi celuloze.

V Sredozemskem morju so do sedaj izvedli pet študij, od tega dve v Jadranu. Tudi v teh dveh študijah so bila vlakna prevladujoča oblika mikroplastike, koncentracije pa so naraščale proti obali (Gomeiro in sod., 2019). V Sloveniji je bil do sedaj dvakrat izveden pilotni monitoring mikroplastike v gojenih in prostoživečih školjkah, namenjen razvoju metodologije za izvajanje Okvirne strategije o morski direktivi (ODMS, 2008/56/EC). Leta 2019 smo analizirali mikroplastiko v prostoživečih in gojenih školjkah iz školjčičišča na Debelem rtiču, leta 2020 pa v prostoživečih in gojenih školjkah iz školjčičišča v Seči. Koncentracije mikroplastike so bile višje v školjkah iz školjčičišča v Piranskem zalivu in se med gojenimi in prostoživečimi školjkami niso statistično značilno razlikovale.

Od leta 2014 v Sloveniji poteka pilotno spremljanje morskih odpadkov na morski gladini, morskem dnu, v obalnih sedimentih in morskih organizmih (ribah in školjkah). Analize so bile opravljene na naslednjih vrstah rib: orada, sardela, mol, morski list, cipelj in brancin; pri

školjkah pa na gojenih in divje živečih klapavicah. Dosedanje analize so pokazale prisotnost mikroodpadkov, vključno z mikroplastiko, tako v ribah kot v školjkah. Koncentracije mikroodpadkov so bile najvišje v cipljih in oradah, vendar so bili fragmenti najdeni tudi v najmanjših sardelah in školjkah (Kovač Viršek in sod., 2019, Kovač Viršek in sod., 2021).

Plastični morski odpadki so tudi vektorji za prenos mikroorganizmov, zato vplivajo na mikrobiološko zdravje morskih organizmov in s tem na mikrobiološko varnost morskih organizmov, namenjenih za prehrano. Ravno v Sloveniji smo prišli do pomembne znanstvene ugotovitve o prisotnosti patogene bakterije *Aeromonas salmonicida* v biofilmih na mikroplastiki v slovenskem morju, kar je tudi prva najdba te bakterije v morskem okolju (Kovač Viršek s sod., 2017). Omenjena bakterija je patogena za ribe, saj povzroča bolezen furunkulozo in posledično množične pogine rib v ribogojnicah. O prisotnosti patogenih vrst mikroorganizmov na plastičnih morskih odpadkih poroča še več tujih študij, v katerih so odkrili tudi bakterije iz rodu *Vibrio* in druge patogene vrste, tako za človeka kot za živali (Oberbeckmann in Labrenz, 2020). Ker so na plastičnih odpadkih vezane številne kemikalije in se nekatere kopičijo v številnih vrstah, to še povečuje njihov negativen vpliv na organizme. Ker prihaja do prenosa mikroplastike in z njo povezanih kemikalij tudi po prehranjevalni verigi, je ogrožena neoporečnost morskih organizmov namenjenih za prehrano. Mikroplastika medsebojno deluje s toksičnimi učinki drugih onesnaževalcev v okolju. Kemijski vpliv mikroplastike na ribe se kaže v nevrotoksičnih učinkih, ki so posledica zaviranja delovanja encima acetilholinesteraze v sinapsah, in v oksidativnem stresu. Brez ustreznih ukrepov se bodo z naraščajočo proizvodnjo plastike povečale tudi količine plastike in mikroplastike v morju, s čimer se bodo povečevali škodljivi vplivi na zdravje gospodarsko pomembnih vrst rib in mehkužcev. Pridelovalci školjk in rib bodo posledično izpostavljeni gospodarski škodi zaradi zmanjšanega fitnesa in manjše rasti organizmov.

Ocena priložnosti v sektorju je pokazala, da je največji potencial v certificiranju pridelave in produktov ter zagotavljanju sledljivosti v celotni oskrbni verigi (Baquedano in sod., 2025). Primeri dobre prakse so zaščiteno geografsko poreklo gojenja školjk ob galicijski obali v Španiji, ob atlantski obali v Franciji, Scardovari školjke v Italiji, certifikat za ekološko pridelavo in certifikat, ki ga podeljuje Svet za morsko skrbništvo (ang. Marine Stewardship Council).

Ker so školjke nizkokalorično in s hranili bogato živilo z ugodno sestavo maščobnih kislin ter beljakovin, je smiselno večje vključevanje školjk v prehrano. Možnosti so tudi v diverzifikaciji proizvodov in sektorja, kjer je gojitvena dejavnost povezana s turizmom in kulinariko, ter v novih načinih gojenja, kot je integrirana multitrofična akvakultura. Po drugi strani je v tem sektorju zaradi enostavne tehnologije pridelave in nizke stopnje nadzora nad gojenjem le malo inovacij, kar pomeni da so školjkarji zelo odvisni od lokalnih okoljskih razmer, na katere nimajo vpliva. Poznamo štiri osnovne načine gojenja školjk: gojenje na morskem dnu, v vodnem stolpcu na plavajočih linijah ali na splavih in gojenje na kolih, ki je značilno za lagune in ob atlantski obali.

V preteklosti so bili v okviru projekta Virusna in mikrobiološka kontaminacija školjk ter prisotnost morskih biotoksinov v školjkah (CRP projekt V4-1085, trajanje od 1. 10. 2010 do 30. 9. 2012) raziskani patogeni in vpeljane metode za analizo biotoksinov, medtem ko še ni bila

izvedena analiza endogenih in okoljskih dejavnikov, ki vplivajo na prirast in gojitev školjk v Slovenskem morju. Do sedaj so bile raziskave osredotočene na odzive klapavic na onesnažila (Kristan in sod., 2014, Tsangaris in sod., 2016, Bajt in sod., 2019, Mitrić in Ramšak, 2021, Mijošek Pavin in sod., 2026) in na bolezni, vključno z neoplazmami (Gombač in sod., 2013). Školjkarji so v okviru regionalnega projekta (FishAgroTech, Interreg SLO ITA, 2017-2019) izpostavili problem slabe rasti školjk ter pogostih škodljivih cvetenj alg v Tržaškem zalivu, ki začasno ustavijo prodajo školjk. Poleg tega so izpostavili pomembnost poznavanja izvora mikroplastike in njenega vpliva na školjke, da bi lažje zagotovili neoporečnost školjk za prehrano ljudi. Školjkarji so posebej izpostavili potrebo po inovativnih rešitvah in izboljšanju gojitvenih praks, ki bi pospešile razvoj akvakulture, kar pa ni mogoče brez poglobljenih raziskav.

3. Metode dela

Projekt je bil glede na vsebino dela razdeljen na več delovnih sklopov, ki zajemajo: izbor in analizo obstoječih podatkovnih nizov okoljskih parametrov ter analizo sprememb v fitoplanktonski združbi in njihovih posledic, pomembnih za školjke (DS1); analizo obstoječih gojitvenih praks, vzorčenje školjk in analizo fiziološkega stanja školjk v školjčičišču z biomarkerji stresa (DS2); analizo obstoječih in novih podatkov o mikroplastiki na školjčičiščih ter ovrednotenje vpliva plastične infrastrukture za gojitev (DS3); sintezo rezultatov in priporočil za izboljšanje gojitvenih praks (DS4) ter diseminacijo projektnih rezultatov (DS5). V nadaljevanju so podrobneje opisane metode dela po vsebinskih sklopih.

3.1 Analiza podatkovnih nizov okoljskih parametrov in fitoplanktonske združbe

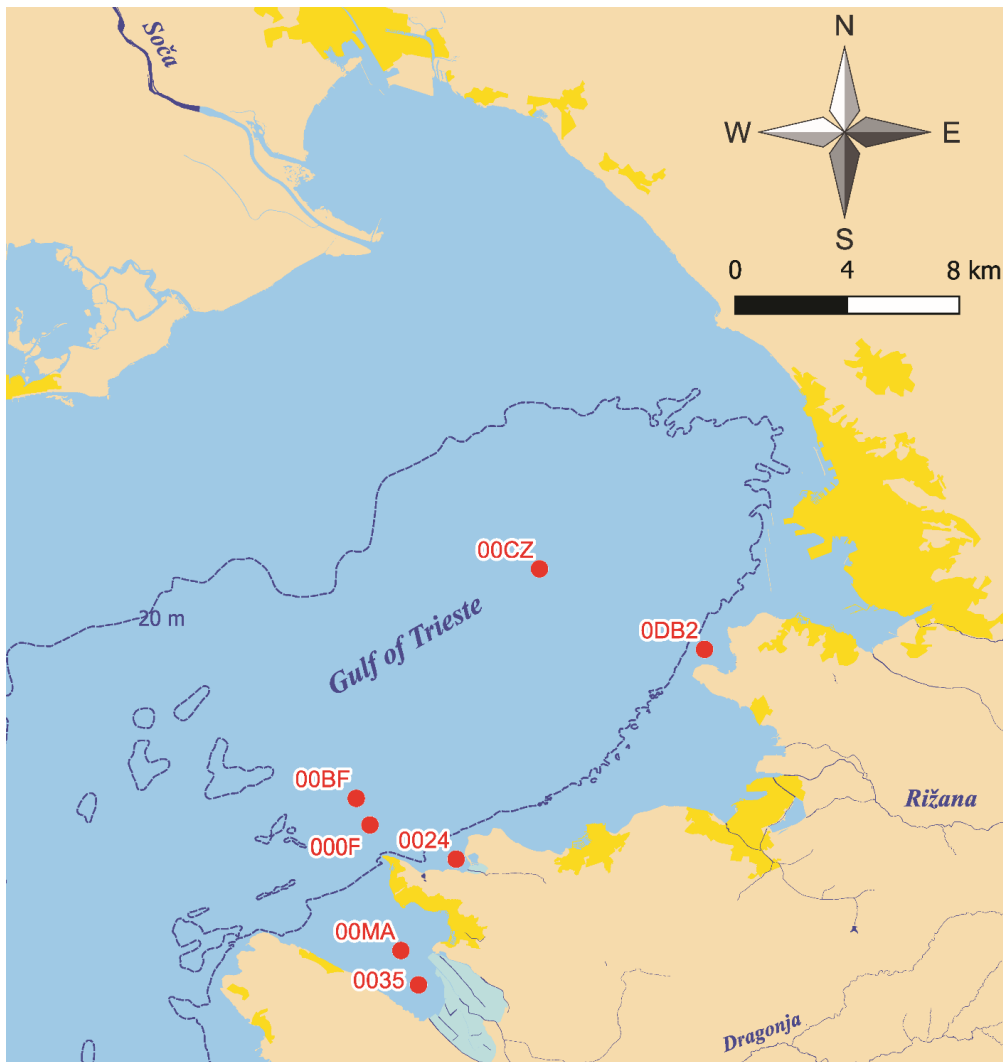
3.1.1 Analiza fizikalnih in kemičnih parametrov v slovenskem morju

Zbrali smo podatke iz dveh podatkovnih baz, ki ju vzdržujemo na NIB-MBP: baza podatkov o fizikalnih in kemičnih meritvah na točkovnih merilnih mestih v slovenskem delu Tržaškega zaliva (EWN baza; vir: ARSO monitoring ekološkega stanja morja in ARIS program P1-0237) in baza podatkov o meteoroloških in oceanografskih meritvah, ki jih beleži oceanografska boja Vida. Merilna mesta so prikazana na Sliki 1. Poleg teh podatkov smo na spletni strani ARSO s hidrološkimi meritvami pridobili podatke o pretokih reke Soče, ki predstavlja največji vnos sladke vode v Tržaškem zalivu. Podatke smo pregledali in jih pripravili za analize trendov in sprememb okoljskih parametrov v slovenskem morju.

Metapodatki o zbranih časovnih serijah iz podatkovnih baz oz. spletnih virov:

- Baza 'EWN'
 - merilna mesta: 000F (45° 32.300' N, 13° 33.000' E), 00CZ (45° 37.400' N, 13° 37.930' E), 0DB2 (45° 35.962' N, 13° 42.335' E), 00MA (45° 30.009' N, 13° 34.326' E)
 - obdobje: 1989–2021 (za merilno mesto 0DB2 je obdobje krajše, 2005–2021)
 - frekvenca vzorčenja: 1x/mesec
 - globina merilnega mesta: 22 m (000F), 24 m (00CZ), 19 m (0DB2), 15 m (00MA)
 - globina vzorčenja: 0 m, 5 m, dno

- parameter: temperatura morja, slanost, raztopljeni kisik, nutrienti, klorofil a (Chl a)
- Baza 'boja Vida':
 - obdobje nov 2002–okt 2021
 - frekvenca meritev: dan
 - merilno mesto: 00BF (45° 32.925' N, 13° 33.042' E)
 - globina: 21 m
 - parameter: temperatura zraka, temperatura morja na 3 m, temperatura morja na 21 m, slanost na globini 3 m
- ARSO arhiv hidroloških podatkov za površinske vode (http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php)
 - obdobje: 1989–2021
 - frekvenca meritev: dan
 - merilno mesto: Solkan I (hid_8180), Miren (hid_8600), Miren I (hid_8565)
 - parameter: pretok (Soča + Vipava).



Slika 1: Zemljevid Tržaškega zaliva s pozicijami merilnih mest (merilno mesto 00BF je na poziciji boje Vida).

Analize smo opravili na celotnem podatkovnem nizu in na podatkih grupiranih po sezonah, z uporabo naslednjega ključa: zima (januar, februar, marec), pomlad (april, maj, junij), poletje (julij, avgust, september) in jesen (oktober, november, december). Trende smo analizirali v posameznih globinah z uporabo linearne analize trendov. Za nekatere prikaze smo uporabili box-plot diagrame.

3.1.2 Analiza podatkov o značilnostih fitoplanktonske združbe v slovenskem morju

Podatki, ki smo jih uporabili za analizo fitoplanktonske združbe v slovenskem morju, predvsem z vidika dolgoročnih sprememb, in pregled potencialno škodljivih vrst fitoplanktona na območjih slovenskih gojišč školjk, izhajajo iz nacionalnih monitoringov (Monitoring bioloških elementov kakovosti ekološkega stanja morja v skladu z veljavnimi metodologijami – naročnik ARSO, Monitoring toksičnega fitoplanktona na območjih gojišč užitne klapavice v Strunjanskem zalivu, Seči in na Debelem rtiču – naročnik MKGP-UVHVVR in ARIS raziskovalnega programa Raziskave obalnega morja P1-0237. Merilna mesta so prikazana na Sliki 1. Podatki so hranjeni v podatkovni bazi EWN (skrbnik NIB-MBP).

Metapodatki o zbranih časovnih serijah za analizo fitoplanktonske združbe:

- ❖ Parameter: klorofil a (Chl-a)
 - Postaja: 000F
 - globina: 0 m, 21 m
 - obdobje (če ni drugače navedeno): 1989–2021
- ❖ Parameter: fitoplankton – sestava in abundanca
 - Postaja: 000F
 - globina: 0 m, 21 m
 - obdobje (če ni drugače navedeno): 1989–2021
- ❖ Parameter: fitoplankton – velikostni razredi
 - Postaja: 00BF
 - globina: 0 m, 10 m, 21 m
 - obdobje: 2007-2018
- ❖ Parameter: toksični fitoplankton – vrstna sestava in abundanca
 - Merilna mesta: 0035, 0024, 0DB2
 - globina: integriran vodni stolpec (12–17 m)
 - Obdobje: 2008–2022, 2014–2019

Trende smo analizirali v posameznih globinah z uporabo linearne analize. Poleg tega smo naredili analizo »regime shift« (Rodionov, 2004), torej premikov v režimih, ki pomenijo nezvezne, nenadne spremembe značilnosti. Za nekatere prikaze smo uporabili box-plot diagrame. Nekateri rezultati so povzeti po objavljenih delih (Flander-Putrlle in sod., 2022, Henigman in sod., 2024, Orlando Bonaca in sod., 2023).

3. 2. Pregled obstoječih praks školjkarstva

Za analizo obstoječega školjkarstva v slovenskem morju smo izdelali obsežen vprašalnik, ki je obsegal 5 sklopov in skupno 73 vprašanj. Takoj ob začetku projekta smo navezali stik s školjkarji ter jim poslali v pregled vprašalnik in jih povabili k sodelovanju. Na povabilo so se odzvali štiri registrirani školjkarji, intervjuje je opravil isti član projektne skupine in so trajali do dve uri. Intervju je bil v obliki semi-strukturiranega intervjuja in je zajemal vprašanja od opisa poslovnega modela, tehnologije gojitve, prodaje, vrste za gojitev, gojitvenih zmogljivosti, pridobitev dovoljenj, finančnih vidikov, administrativnih zahtev in nadzora ter težav in rešitev, ki jih predlagajo školjkarji. Rezultate smo obdelali in jih objavili v članku v reviji *Aquaculture Reports* v letu 2024 (Ramšak in sod., 2024).

3. 3 Analiza biomarkerjev fiziološkega stanja školjk v školjčišču ter simulacija učinkov toplotnega stresa na školjke

Z enim školjkarjem smo se dogovorili, da je sodeloval pri postavitvi eksperimentalnega polja na školjčišču v Piranskem zalivu na katerem so bile postavljene viseče mreže s klapavicami. Klapavice so bile nabrane na školjčišču ob Debelem rtiču in nato nasajene v mrežice ter prenešene na lokacijo v Piranskem zalivu en mesec pred začetkom vzorčenja. Izdelali smo podroben protokol vzorčenja klapavic za analize fiziološkega stresa in za meritve abiotskih dejavnikov ob času vzorčenja klapavic. Fiziološko stanje klapavic smo ovrednotili z biomarkerji splošnega stresa, oksidativnega stresa in z indeksi za ocenjevanje rasti. Na istem polju v Piranskem zalivu smo tudi vzorčili morsko vodo in klapavice za analize mikroplastike.

Za vrednotenje prirastka smo uporabili kondicijski indeks, ki temelji na masi viscere (mesa školjk) ter masi lupine in odraža razmerje med maso viscere in volumnom lupine, kar je zelo pomemben indikator rasti in izraža splošno stanje školjke, kajti zaradi toplotnega stresa je lahko zavrta rast viscere, a rast lupine ne. Vzorčenja in meritve na klapavicah smo opravljali eno koledarsko leto od novembra 2023 do septembra 2024. Vsak mesec smo z istega vzorčnega mesta odvzeli del viseče mreže s klapavicami in jih nato obdelali v laboratoriju (glej opis v poglavju rezultati). Ob vzorčenju klapavic smo izmerili abiotske parametre (temperatura morske vode, vsebnost raztopljenega kisika, slanost, pH), odvzeli smo še vodo za analizo hranil v morski vodi. V klapavicah (škregah in prebavni žlezi) smo merili biomarkerje oksidativnega stresa (SOD, GST, CAT) in nevrotoksičnosti (AChE), ki so predstavljeni v poglavju Rezultati. Skupno smo pregledali 1950 vzorcev, ki smo jih analizirali najmanj v dveh ali treh tehničnih ponovitvah glede na zahteve določene analize.

3.4. Identifikacija mikroplastike v vodnem stolpcu školjčišča

3.4.1 Vzorčenje

3.4.1.1 Razvoj vzorčevalnega sistema za vzorčenje vode v vodnem stolpcu

V letu 2023 smo na podlagi dotedanjih izkušenj z vzorčenjem mikroplastike v vodnem stolpcu razvili vzorčevalni sistem, ki nam je omogočal vzorčenje več vzorcev hkrati v zaprtem sistemu, kjer ni možnosti navzkrižne kontaminacije, kaskadno filtracijo (sočasno vzorčenje vode na filtre različnih velikosti) in s tem filtracijo večjih volumnov vode. Sistem smo za potrebe izvajanja projekta dvakrat testirali (18. 5. 2023 in 13. 7. 2023). Prvo testiranje je bilo namenjeno

preverjanju vodotesnosti in stabilnosti filtrov, medtem ko smo pri drugem testiranju preizkusili možnost kaskadne filtracije. Ugotovili smo, da je kaskadna filtracija zelo uporabna ob povečani motnosti vode, saj se na ta način s črpanjem lahko pridobi dvakrat večji volumen vzorca.

3.4.1.2 Vzorčenje morske vode na školjčišču

Vzorčenje morske vode na školjčišču v Seči smo izvedli 4x, po enkrat na letni čas in sicer 24.11.2023, 23.1.2024, 15.5.2024 in 10.7.2024. Vodo smo vzorčili z vodno črpalko, na katero smo priklopili filtracijski sistem (Slika 2). V filtracijski sistem smo namestili najlonske membranske filtre z velikostjo por 100 μm .



Slika 2: Prikaz vzorčevalnega sistema na raziskovalnem plovilu (Foto: IzVRS, 2024).

Količina vzorčene vode je razvidna iz Tabele 1 in Tabele 2.

Tabela 1: Podatki o vzorčenjih morske vode na školjčišču v Piranskem zalivu.

Datum vzorčenja	GPS koordinate	Globina vzorčenja	Tip filtra	Volumen prefiltrirane vode	Število podvzorcev
24.11.2023	45,4971	0,5 m	100 µm	2.008 l	3
	13,5828	5 m	100 µm	2.024 l	3
23.1.2024	45,4929	0,5 m	100 µm	4.363 l	6
	13,5826	5 m	100 µm	4.433 l	8
15.5.2024	45,4930	0,5 m	100 µm	2.183 l	4
	13,5830	5 m	100 µm	2.148 l	4
10.7.2024	45,4929	0,5 m	100 µm	1.737	6
	13,5830	5 m	100 µm	2.274	4

Tabela 2: Podatki o posameznem podvzorcu morske vode v vodnem stolpcu školjčičča.

Koda vzorca	Datum vzorčenja	Volumen vode (l)	Globina vzorčenja (m)	Začetni čas	Končni čas
KV1_24112023	24.11.2023	703,3	0,5	10:18	10:50
KV2_24112023	24.11.2023	707,7	0,5	10:56	11:26
KV3_24112023	24.11.2023	605,1	0,5	11:30	11:52
KV4_24112023	24.11.2023	717,4	5	12:03	12:30
KV5_24112023	24.11.2023	706,8	5	12:34	13:01
KV6_24112023	24.11.2023	614,6	5	13:06	13:28
KV1.1_23012024	23.1.2024	559	0,5	09:20	09:50
KV1.2_23012024	23.1.2024	575	0,5	09:20	09:50
KV2.1_23012024	23.1.2024	539	0,5	10:05	10:30
KV2.2_23012024	23.1.2024	544	0,5	10:05	10:30
KV3.1_23012024	23.1.2024	524	0,5	10:35	10:55
KV3.2_23012024	23.1.2024	539	0,5	10:35	10:55
KV4.1_23012024	23.1.2024	521	5	11:06	11:30
KV4.2_23012024	23.1.2024	523	5	11:06	11:30
KV*.1_23012024	23.1.2024	524	5	11:35	12:00
KV*.2_23012024	23.1.2024	528	5	11:35	12:00
KV5.1_23012024	23.1.2024	516	5	12:25	12:50

KV5.2_23012024	23.1.2024	520	5	12:25	12:50
KV6.1_23012024	23.1.2024	647	5	12:55	13:25
KV6.2_23012024	23.1.2024	660	5	12:55	13:25
KV1_15052024	15.5.2024	734,4	1	09:21	10:05
KV2_15052024	15.5.2024	746,7	1	09:21	10:05
KV3_15052024	15.5.2024	346,55	1	10:15	10:30
KV4_15052024	15.5.2024	355,05	1	10:15	10:30
KV5_15052024	15.5.2024	556,6	5	10:40	11:10
KV6_15052024	15.5.2024	556	5	10:40	11:10
KV7_15052024	15.5.2024	515,35	5	11:16	11:42
KV8_15052024	15.5.2024	519,9	5	11:16	11:42
KV1_10072024	10.7.2024	262,1	1	10:30	10:54
KV2_10072024	10.7.2024	263,3	1	10:30	10:54
KV3_10072024	10.7.2024	195,1	1	11:00	11:26
KV4_10072024	10.7.2024	337,2	1	11:00	11:26
KV3a_10072024	10.7.2024	315,8	1	11:30	11:50
KV4a_10072024	10.7.2024	363,78	1	11:30	11:50
KV5_10072024	10.7.2024	519,7	5	12:00	12:30
KV6_10072024	10.7.2024	527,8	5	12:00	12:30
KV7_10072024	10.7.2024	604	5	12:35	13:05
KV8_10072024	10.7.2024	622,2	5	12:35	13:05

3.4.1.3 Vzorčenje sedimenta na morskem dnu

Vzorčenje morskega sedimenta na školjčičšču v Piranskem zalivu smo izvedli 4x, po enkrat na letni čas in sicer sočasno z vzorčenjem morske vode (24. 11. 2023, 23. 01. 2024, 15. 05. 2024 in 10. 07. 2024). Sediment smo iz morskega dna potegnili z grabilom van Veen, nato smo ga s sprano kovinsko žlico shranili v sprane steklene kozarce. Pri vsakem vzorčenju smo odvzeli tri vzorce sedimenta. Podatki o vzorcih sedimentov so zbrani v Tabeli 3.



Slika 3: Grabilo van Veen s katerim smo vzorčili morske sedimente (levo) in prikaz enega izmed vzorcev sedimenta (desno). Foto: IzVRS, 2024.

Tabela 3: Podatki o posameznih podvzorcih morskega sedimenta iz školjišča v Piranskem zalivu.

Koda vzorca	Datum vzorčenja	Čas vzorčenja	Globina vzorčenja (m)	Masa analiziranega vzorca (g)
KS1_24112023	24.11.2023	13:45	11	240
KS2_24112023	24.11.2023	13:55	11	223
KS3_24112023	24.11.2023	13:58	11	239
KS1_23012024	23.1.2024	13:49	9	247
KS2_23012024	23.1.2024	13:51	9	257
KS3_23012024	23.1.2024	13:54	9	261
KS1_15052024	15.5.2024	11:59	10,2	132
KS2_15052024	15.5.2024	11:04	10,2	134
KS3_15052024	15.5.2024	12:08	10,2	141
KS1_10072024	10.7.2024	13:20	10,5	132
KS2_10072024	10.7.2024	13:25	10,5	142
KS3_10072024	10.7.2024	13:30	10,5	149

3.4.2 Identifikacija mikroplastike v klapavicah

3.4.2.1 Vzorčenje klapavic

Klapavice smo vzorčili hkrati z vzorčenjem školjk za analize fiziološkega stanja školjk (DS2.2). Vzorčenje je potekalo od novembra 2023 do septembra 2024. Vzorčenje smo morali prilagoditi zaradi velike umrljivosti klapavic, prvotno smo načrtovali sezonsko vzorčenje na dveh globinah v školjišču, na vsaki globini po 50 školjk, skupno torej 400 školjk. Načrt smo prilagodili tako, da smo vzorčenja izvedli devetkrat s spremenljivim številom školjk. Skupno smo analizirali 400 školjk. Število analiziranih školjk na posamezno vzorčenje je prikazano v Tabeli 4.

Tabela 4: Datumi vzorčenja klapavic in število analiziranih klapavic na vzorčenje.

Datum vzorčenja									
	20.11.2023	18.12.2023	12.02.2024	18.03.2024	15.04.2024	15.05.2024	17.06.2024	10.07.2024	10.09.2024
Število analiziranih klapavic	50	56	35	36	50	50	50	50	23

3.4.2.2 Laboratorijske analize mikroplastike

3.4.2.2.1 Vzorci vode

V laboratoriju smo s stereomikroskopom StereoDiscovery (Carl Zeiss) pregledali mikroodpadke na filtrih na katerih smo vzorčili morskovo vodo. Posameznemu delcu smo določili morfološko obliko (vlakno, fragment), velikost, barvo in kemijsko sestavo. Kemijsko sestavo smo določili s FTIR mikroskopom (RaptIR, Thermo Scientific). Delce smo glede na kemijsko sestavo uvrstili med mikroodpadke iz plastike (mikroplastika; kot »umetni sintetični in semisintetični polimeri«) in mikroodpadke, ki niso iz plastike (v Tabeli 5 označeni kot »drugi delci mikroodpadkov«) in nadalje v eno izmed skupin polimerov.

Tabela 5: Preglednica za razvrščanje mikroodpadkov glede na njihovo kemijsko sestavo. Mikroodpadke ločimo na »umetne sintetične in semisintetične polimere« (mikroplastika) ter »druge delce mikroodpadkov« (niso po sestavi plastika). Nadalje mikroodpadke razvrstimo v skupine polimerov.

	Kratica	Skupina polimerov	Primer materialov
Umetni sintetični in semisintetični polimeri	PAN	Na osnovi akrilonitrila	acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polyacrylonitrile (PAN), ASA + AMSAN, acrylic fiber
	CA	Na osnovi celuloze	cellulose acetate (CA), cellulose nitrate (CN)
	PA	Na osnovi poliamida	Vsi tipi PA kot npr. različni najloni, Poly (p-phenylene terephthalamide) (PPTA)
	PC	Na osnovi polikarbonata	Polycarbonate (PC)
	PVC	Poliklorinirani polimeri	Polivinil klorid (PVC), klorinirani PE, različni klorinirani polimeri
	PET	Na osnovi poliestra	Polietilen tereftalat (PET), polibutilen ereftalat (PBT), poly (1,4-cyclohexandimethylene terephthalate) (PCT), vsi drugi tipi poliestra
	PE	Na osnovi polietilena	HDPE, LDPE, in kopolimeri z večjo frakcijo PE, vključno z etilen vinil acetat kopolimerom (EVA)
	PTFE	Polifluorinirani polimeri	Npr. politetrafluoroetilen PTFE
	PMA	Na osnovi polimetil(ester)akrilata	Vsi tipi PM(ester)A
	PP	Na osnovi polipropilena (PP)	Polipropilen (PP), kopolimeri z večjo frakcijo PP
	PS	Na osnovi polistirena (PS)	Polisteren (PS), kopolimeri z manjšo frakcijo PS, styrenic terpolymer
	PU	Na osnovi poliuretana	Vsi tipi poliuretana (PUR)
	VPP	Delci barv, lakov (Varnish/Paint particles)	Razen PM(ester)A; alkid
Drugi delci mikroodpadkov	OP	Druge plastike	polieter eter ketone (PEEK), polioksimetilene (POM), polivinil acetat (PVA), polivinil alkohol, polilaktična kislina (PLA), polyhydroxyalkanoate (PHA), polioksimetilen/polyacetal/polyformaldehyde (POM), polivinil stearate, polymethacrylic acid, epoxy/polyepoxides, polyacrylamide (PAM)
	OSSP	Drugi semi-sintetični polimeri (Other semi-synthetic polymers)	Rayon, Cellophane, Avicel
	R	Gume, avtomobilske gume	Stiren butadiene guma (SBR), obraba gum
Drugi delci mikroodpadkov	OR	Ostale gume (other rubbers)	Vključuje etilen propilen dien monomer gumo (EPDM), polyisobutylene, silikon, nitrilne gume in naravne gume
	OMM	Ostali delci mikroodpadkov (other microliter materials)	Kovine, steklo, papirnati odpadki, naravna celulozna vlakna (bombaž, lan,...)

3.4.2.2 Vzorci sedimentov

V laboratoriju smo najprej posušili sediment do konstantne teže pri 40°C. Nato smo sediment obdelali z metodo ločevanja na osnovi gostote z uporabo nasičene solne raztopine. Postopek smo za vsak vzorec ponovili trikrat. Po usedanju smo vodno fazo prefiltrirali skozi najlonske filtre z velikostjo por 80 µm. Filtre smo nato analizirali po enakem postopku kot je opisan za vzorce vode (glej 3.4.2.2.1 Vzorci vode).

3.4.2.3 Vzorci školjk

V laboratoriju smo najprej opravili sekcijo školjk in sicer na način, da smo pri posamezni školjki posebej ločili votlinsko tekočino, škrge, prebavila in ostala mehka tkiva. Lupino smo zavrgli. Mehka tkiva smo nato razgradili s 10% kalijevim hidroksidom pri sobni temperaturi in počasnem stresanju. Razgradnja je trajala tri dni. Po razgradnji smo razgradnji produkt prefiltrirali skozi najlonske filtre z velikostjo por 10 µm. Sledila je analiza filtrov na prisotnost mikroodpadkov na enak način kot pri vzorcih vode in sedimentov.

3.5 Študija vpliva letnih časov ter oceanografskih, meteoroloških in hidroloških dejavnikov na razporejanje mikroplastike v školjčičih

Izmerjene koncentracije mikroodpadkov v vodi in školjkah smo dopolnili z vrednostmi atributnih podatkov, ki zajemajo vpliv okoljskih dejavnikov na koncentracijo mikroodpadkov v morju in školjkah. Med vplivi okolja smo upoštevali naslednje dejavnike:

- Oceanografske: podatki o tokovanju in drugih oceanografskih procesih, ki jih beležijo oceanografske boje v Tržaškem zalivu;
- Meteorološke: podatki o vremenskih vplivih na dan vzorčenja in v dneh pred tem, ki jih beležijo vremenske postaje na slovenski obali;
- Hidrološke: podatki o pretokih in vodostajih slovenskih rek, ki se izlivajo v Tržaški zaliv.

Atributne podatke smo pridobili od Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Za obdelavo podatkov smo izbrali program za strojno učenje Weka (ang. machine learning; v nadaljevanju: ML; Frank in sod., 2016). Z omenjenim programom je možno z različnimi algoritmi ML iskati povezave med podatki. Pri delu smo uporabili algoritem M5P, ki generira regresijska oz. modelna drevesa (za natančnejšo razlago glej Frank in sod., 2016). Rezultat je drevo, v katerem so atributi strukturirani glede na pomembnost oziroma velikost vpliva, ki ga imajo na ciljno spremenljivko. V našem primeru je končna spremenljivka količina mikroodpadkov v školjki (ali natančnejša specifikacija le-te) ali v morski vodi, atributi so okoljske spremenljivke, ki (morda) vplivajo na koncentracijo mikroodpadkov.

Zaradi obsežnosti dela in velike količine podatkov smo delo z ML razdelili v tri sklope:

- 1. sklop: določanje vpliva letnega časa in oceanografskih dejavnikov na količino mikroodpadkov v površinskem sloju morja;
- 2. sklop: določanje vpliva letnega časa ter oceanografskih, meteoroloških in hidroloških dejavnikov na količino mikroodpadkov v školjkah – analiza na ravni skupin školjk;
- 3. sklop: določanje vpliva letnega časa in oceanografskih dejavnikov na količino mikroodpadkov v školjkah – analiza na ravni posameznih školjk.

V Tabeli 6, Tabeli 7 in v Tabeli 8 so navedeni atributni podatki, ki smo jih uporabili v posameznih sklopih analize.

Tabela 6: Atributni podatki, uporabljeni v prvem sklopu analize.

ZAP. ŠT.	ATRIBUT	OPIS ATRIBUTA	TIP ATRIBUTA
1	LOCATION	Lokacija meritev	nominalni
2	LETNI_CAS	Letni čas opravljenih meritev	nominalni
3	WATER_BODY	Vodno telo na območju meritev	nominalni
4	TRANSECT_LENGTH	Dolžina opravljene poti z ladjo med posamezno meritvijo	numerični
5	WIND_SPEED_MEAN	Povprečna hitrost vetra	numerični
6	WIND_DIR_MEAN	Povprečna smer vetra	numerični

7	WIND_DIR_MEAN_nom	Povprečna smer vetra - nominalni atribut	nominalni
8	WAVES_HEIGHT_MEAN	Povprečna višina valov	numerični
9	WAVES_DIR_MEAN	Povprečna smer valov	numerični
10	WAVES_DIR_MEAN_nom	Povprečna smer valov - nominalni atribut	nominalni
11	CURR_N_2M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 2 m	numerični
12	CURR_N_5M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 5 m	numerični
13	CURR_N_10M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 10 m	numerični
14	CURR_N_15M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 15 m	numerični
15	CURR_N_20M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 20 m	numerični
16	WIND_SPEED_MEAN_2	Povprečna hitrost vetra - 2. meritev	numerični
17	WIND_GUST	Največji sunek vetra	numerični
18	TEMP_AIR	Temperatura zraka	numerični
19	HUM_AIR	Vlažnost zraka	numerični
20	TEMP_SEA_3M	Temperatura morja: globina 3 m	numerični
21	TEMP_SEA_BOTTOM	Temperatura morja: dno	numerični
22	SAL_SEA	Slanost morja	numerični
23	WAVES_HEIGHT_MEAN_2	Povprečna višina valov - 2. meritev	numerični
24	WAVES_HEIGHT_MAX	Največja višina valov	numerični
25	WAVES_MEAN_PER	Povprečna perioda valov	numerični
26	PAR	Sončno sevanje	numerični
27	OXY DISS	Raztopljeni kisik	numerični
28	TIDES	Višina plimovanja	numerični
29	SUM_COUNT_MP	Število delcev mikroplastike (MP) v vzorcu vode	numerični
30	AVE_LENGTH_MP	Povprečna velikost delcev mikroplastike (MP) v vzorcu vode	numerični

Tabela 7: Atributni podatki, uporabljeni v 2. sklopu analize.

ZAP. ŠT.	ATRIBUT	OPIS ATRIBUTA	TIP ATRIBUTA
1	LETNI_CAS	Letni čas opravljenih meritev	nominalni
2	WIND_DIR_MEAN_NOM	Povprečna smer vetra - nominalni atribut	nominalni
3	WIND_DIR_MEAN	Povprečna smer vetra	numerični
4	WAVES_DIR_MEAN_NOM	Povprečna smer valov - nominalni atribut	nominalni
5	WAVES_DIR_MEAN	Povprečna smer valov	numerični
6	CURR_N_2M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 2 m	numerični
7	CURR_N_5M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 5 m	numerični
8	CURR_N_10M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 10 m	numerični
9	CURR_N_15M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 15 m	numerični
10	CURR_N_20M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 20 m	numerični
11	WIND_SPEED_MEAN_2	Povprečna hitrost vetra - 2. meritev	numerični
12	WIND_GUST	Največji sunek vetra	numerični
13	TEMP_AIR	Temperatura zraka	numerični
14	HUM_AIR	Vlažnost zraka	numerični
15	TEMP_SEA_3M	Temperatura morja: globina 3 m	numerični
16	TEMP_SEA_BOTTOM	Temperatura morja: dno	numerični
17	SAL_SEA	Slanost morja	numerični
18	WAVES_HEIGHT_MEAN	Povprečna višina valov	numerični
19	WAVES_HEIGHT_MAX	Največja višina valov	numerični
20	WAVES_MEAN_PER	Povprečna perioda valov	numerični
21	OXY DISS	Raztopljeni kisik	numerični
22	YAW_WW	Parameter valov 1 (yaw)	numerični
23	ROLL_WW	Parameter valov 2 (roll)	numerični
24	PITCH_WW	Parameter valov 3 (pitch)	numerični
25	PAR	Sončno sevanje	numerični
26	TIDES	Višina plimovanja	numerični
27	SOCA_Q_0	Soča: povprečni dnevni pretok na postaji Solkan_I na dan meritev	numerični
28	SOCA_H_0	Soča: povprečni dnevni vodostaj na postaji Solkan_I na dan meritev	numerični
29	SOCA_Q_-1	Soča: povprečni dnevni pretok na postaji Solkan_I na dan pred meritvijo	numerični

30	SOCA_H_-1	Soča: povprečni dnevni vodostaj na postaji Solkan_I na dan pred meritvijo	numerični
31	SOCA_Q_-3	Soča: povprečni dnevni pretok na postaji Solkan_I v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
32	SOCA_H_-3	Soča: povprečni dnevni vodostaj na postaji Solkan_I v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
33	SOCA_Q_-10	Soča: povprečni dnevni pretok na postaji Solkan_I v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
34	SOCA_H_-10	Soča: povprečni dnevni vodostaj na postaji Solkan_I v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
35	RIZANA_Q_0	Rižana: povprečni dnevni pretok na postaji Dekani na dan meritev	numerični
36	RIZANA_H_0	Rižana: povprečni dnevni vodostaj na postaji Dekani na dan meritev	numerični
37	RIZANA_Q_-1	Rižana: povprečni dnevni pretok na postaji Dekani na dan pred meritvijo	numerični
38	RIZANA_H_-1	Rižana: povprečni dnevni vodostaj na postaji Dekani na dan pred meritvijo	numerični
39	RIZANA_Q_-3	Rižana: povprečni dnevni pretok na postaji Dekani v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
40	RIZANA_H_-3	Rižana: povprečni dnevni vodostaj na postaji Dekani v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
41	RIZANA_Q_-10	Rižana: povprečni dnevni pretok na postaji Dekani v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
42	RIZANA_H_-10	Rižana: povprečni dnevni vodostaj na postaji Dekani v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
43	DRAGONJA_Q_0	Dragonja: povprečni dnevni pretok na postaji Podkaštel_I na dan meritev	numerični
44	DRAGONJA_H_0	Dragonja: povprečni dnevni vodostaj na postaji Podkaštel_I na dan meritev	numerični
45	DRAGONJA_Q_-1	Dragonja: povprečni dnevni pretok na postaji Podkaštel_I na dan pred meritvijo	numerični
46	DRAGONJA_H_-1	Dragonja: povprečni dnevni vodostaj na postaji Podkaštel_I na dan pred meritvijo	numerični
47	DRAGONJA_Q_-3	Dragonja: povprečni dnevni pretok na postaji Podkaštel_I v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
48	DRAGONJA_H_-3	Dragonja: povprečni dnevni vodostaj na postaji Podkaštel_I v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
49	DRAGONJA_Q_-10	Dragonja: povprečni dnevni pretok na postaji Podkaštel_I v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
50	DRAGONJA_H_-10	Dragonja: povprečni dnevni vodostaj na postaji Podkaštel_I v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
51	BADASEVICA_Q_0	Badaševica: povprečni dnevni pretok na postaji Šalara na dan meritev	numerični

52	BADASEVICA_H_0	Badaševica: povprečni dnevni vodostaj na postaji Šalara na dan meritev	numerični
53	BADASEVICA_Q_-1	Badaševica: povprečni dnevni pretok na postaji Šalara na dan pred meritvijo	numerični
54	BADASEVICA_H_-1	Badaševica: povprečni dnevni vodostaj na postaji Šalara na dan pred meritvijo	numerični
55	BADASEVICA_Q_-3	Badaševica: povprečni dnevni pretok na postaji Šalara v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
56	BADASEVICA_H_-3	Badaševica: povprečni dnevni vodostaj na postaji Šalara v zadnjih treh dneh pred meritvijo	numerični
57	BADASEVICA_Q_-10	Badaševica: povprečni dnevni pretok na postaji Šalara v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
58	BADASEVICA_H_-10	Badaševica: povprečni dnevni vodostaj na postaji Šalara v zadnjih desetih dneh pred meritvijo	numerični
59	PADAVINE_24	Skupna količina padavin v zadnjih 24h	numerični
60	PADAVINE_72	Skupna količina padavin v zadnjih 72h	numerični
61	NEVIHTA_24	Nevihta v zadnjih 24h	nominalni
62	NEVIHTA_72	Nevihta v zadnjih 72h	nominalni
63	TOCA_24	Toča v zadnjih 24h	nominalni
64	TOCA_72	Toča v zadnjih 72h	nominalni
65	VIH_VETER_24	Viharni veter v zadnjih 24h	nominalni
66	VIH_VETER_72	Viharni veter v zadnjih 72h	nominalni
67	MEGLA_24	Megla v zadnjih 24h	nominalni
68	MEGLA_72	Megla v zadnjih 72h	nominalni
69	STEVILO_SKOLJK	Število analiziranih školjk v eni skupini	numerični
70	AVE_LENGTH	Povprečna velikost školjk v eni skupini	numerični
71	AVE_WEIGHT	Povprečna teža školjk v eni skupini	numerični
72	SUM_COUNT_1_prav	Povprečno število delcev mikroplastike v eni skupni analiziranih školjk	numerični
73	SUM_COUNT_2_prav	Povprečno število delcev mikroplastike v eni skupni analiziranih školjk - dodaten atribut	numerični
74	AVE_LENGTH_MP	Povprečna velikost delcev mikroplastike (MP) v eni skupini analiziranih školjk	numerični

Tabela 8: Atributni podatki, uporabljeni v 3. sklopu analize.

ZAP. ŠT.	ATRIBUT	OPIS ATRIBUTA	TIP ATRIBUTA
1	LETNI_CAS	Letni čas opravljenih meritev	nominalni
2	WIND_DIR_MEAN	Povprečna smer vetra	numerični
3	WIND_DIR_MEAN_nom	Povprečna smer vetra - nominalni atribut	nominalni
4	WAVES_DIR_MEAN	Povprečna smer valov	numerični
5	WAVES_DIR_MEAN_nom	Povprečna smer valov - nominalni atribut	nominalni
6	CURR_2M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 2 m	numerični
7	CURR_5M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 5 m	numerični
8	CURR_10M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 10 m	numerični
9	CURR_15M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 15 m	numerični
10	CURR_20M	Hitrost tokovanja: horizontalni tokovi, globina 20 m	numerični
11	WIND_SPEED_MEAN	Povprečna hitrost vetra	numerični
12	WIND_GUST	Največji sunek vetra	numerični
13	TEMP_AIR	Temperatura zraka	numerični
14	HUM_AIR	Vlažnost zraka	numerični
15	TEMP_SEA_3M	Temperatura morja: globina 3 m	numerični
16	TEMP_SEA_BOTTOM	Temperatura morja: dno	numerični
17	SAL_SEA	Slanost morja	numerični
18	WAVES_HEIGHT_MEAN	Povprečna višina valov	numerični
19	WAVES_HEIGHT_MAX	Največja višina valov	numerični
20	WAVES_MEAN_PER	Povprečna perioda valov	numerični
21	OXY DISS	Raztopljeni kisik	numerični
22	YAW_WW	Parameter valov 1 (yaw)	numerični
23	ROLL_WW	Parameter valov 2 (roll)	numerični
24	PITCH_WW	Parameter valov 3 (pitch)	numerični
25	PAR	Sončno sevanje	numerični
26	TIDES	Višina plimovanja	numerični
27	ŠTEVILO_SKOLJK	Število školjk v okviru ene meritve	numerični
28	AVE_LENGTH_SKOLJKE	Povprečna velikost školjk v okviru ene meritve	numerični
29	SUM_COUNT_1_prav	Povprečno število delcev mikroplastike (MP) v posamezni školjki v okviru ene meritve	numerični
30	SUM_COUNT_2	Število delcev mikroplastike (MP) v posamezni školjki v okviru ene meritve - dodaten atribut	numerični

31	AVE_LENGTH_MP	Povprečna velikost delcev mikroplastike (MP) v okviru ene meritve	numerični
----	---------------	---	-----------

4 Rezultati raziskave

4.1. Analiza fizikalnih in kemičnih parametrov v slovenskem morju

4.1.1 Temperatura in slanost morske vode

Za potrebe projekta smo analizirali časovni niz temperature in slanosti morja na postaji 000F in oceanografski boji Vida, ki zajema obdobje 1989–2021. Tabela 9 prikazuje trende temperature in slanosti morske vode v celotnem obdobju in po sezonah, trende temperature na oceanografski boji Vidi pa samo za celo obdobje.

Tabela 9: Linearni trendi temperature in slanosti morske vode na postaji 000F in oceanografski boji Vidi na površini in pri dnu. Statistično značilni trendi so označeni s krepko pisavo.

parameter	postaja	globina	obdobje	trend (°C/leto)	st. napaka	p	
temperatura (°C)	000F	površina	1989-2021	0,0323	0,0311	0,3000	NS
		površina	1989-2021 - zima	0,0316	0,0125	0,0131	*
		površina	1989-2021 - pomlad	0,0424	0,0448	0,3470	NS
		površina	1989-2021 - poletje	0,0534	0,0174	0,0028	**
		površina	1989-2021 - jesen	0,0017	0,0316	0,9570	NS
		5 m	1989-2021	0,0421	0,0301	0,1630	NS
		5 m	1989-2021 - zima	0,0307	0,0126	0,0169	*
		5 m	1989-2021 - pomlad	0,0542	0,0439	0,219	NS
		5 m	1989-2021 - poletje	0,0728	0,0170	0,0000	***
		5 m	1989-2021 - jesen	0,0041	0,0317	0,989	NS
		dno	1989-2021	0,0314	0,0220	0,1540	NS
		dno	1989-2021 - zima	0,0353	0,0143	0,0157	*
		dno	1989-2021 - pomlad	0,0361	0,0240	0,1350	NS
		dno	1989-2021 - poletje	0,0191	0,0163	0,2460	NS
		dno	1989-2021 - jesen	-0,0002	0,0306	0,9950	NS

	Vida	površina	2002-2020	0,1440	0,0137	0,0000	***
		dno	2002-2020	0,0992	0,0096	0,0000	***
slanost	000F	površina	1989-2021	0,0150	0,0079	0,0574	NS
		površina	1989-2021 - zima	0,0182	0,0153	0,2360	NS
		površina	1989-2021 - pomlad	-0,0022	0,0166	0,8950	NS
		površina	1989-2021 - poletje	0,0108	0,0132	0,4150	NS
		površina	1989-2021 - jesen	0,0312	0,0147	0,0371	*
		5 m	1989-2021	0,0092	0,0052	0,0780	NS
		5 m	1989-2021 - zima	0,0122	0,0049	0,0139	*
		5 m	1989-2021 - pomlad	-0,0007	0,0123	0,9570	NS
		5 m	1989-2021 - poletje	0,0010	0,0099	0,9180	NS
		5 m	1989-2021 - jesen	0,0246	0,0079	0,0025	**
		dno	1989-2021	0,0164	0,0024	0,0000	***
		dno	1989-2021 - zima	0,0149	0,0039	0,0003	**
		dno	1989-2021 - pomlad	0,0143	0,0046	0,0025	**
		dno	1989-2021 - poletje	0,0167	0,0041	0,0001	***
		dno	1989-2021 - jesen	0,0227	0,0050	0,0000	***

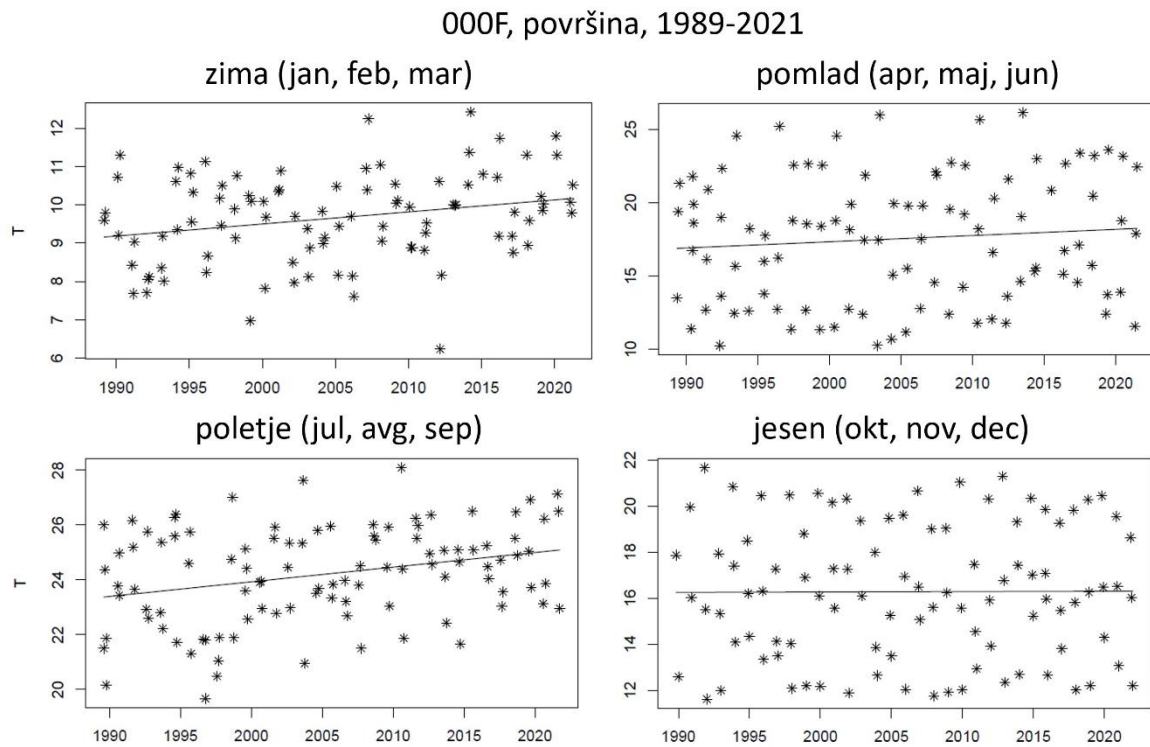
* statistično značilno pri $p = 0,01-0,05$

** statistično značilno pri $p = 0,001-0,01$

*** statistično značilno pri $p < 0,001$

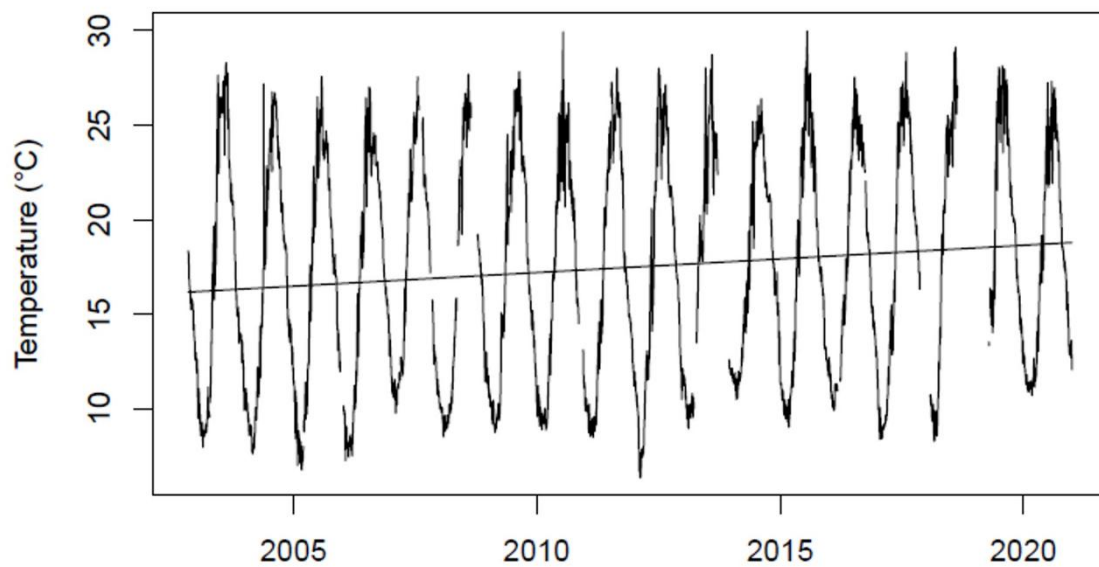
V vseh treh vodnih slojih postaje 000F, kjer so na voljo meritve z mesečno frekvenco, je temperaturni trend na celotnem obdobju sicer pozitiven, vendar ni statistično značilen (Tabela 9). Analiza temperature v posameznih sezonah pa pokaže, da je porast temperature v površinskem vodnem sloju (Slika 4) značilen predvsem za zimo in poletje, medtem ko spomladi in jeseni trend ni značilen, kar velja tudi za pridneni sloj (Tabela 9). V pridnenem sloju postaje 000F je porast temperature statistično značilen le pozimi (Tabela 9). Nasprotno pa kontinuirane meritve (v 15-minutnih intervalih) na oceanografski boji Vida kažejo, da je višanje temperature morja značilno za celotno obdobje zadnjih dvajsetih let (2002-2020), saj beležimo

rast temperature za 0,14 °C/leto v površinskem sloju in le nekoliko manjšo (0,1°C/leto) v pridnenem sloju (Tabela 9, Slika 4).

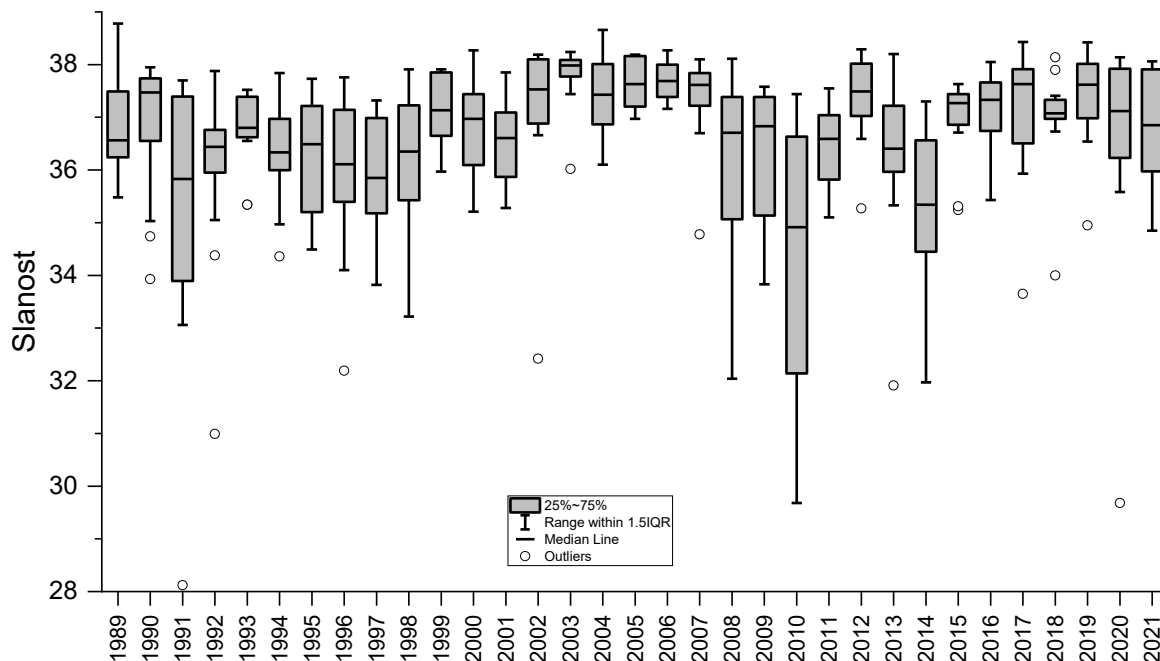


Slika 4: Temperatura morja v površinskem sloju na postaji 000F v različnih sezonah v obdobju 1989-2021 s prikazanim linearnim trendom (polna črta).

Vida, površina, 2002-2020

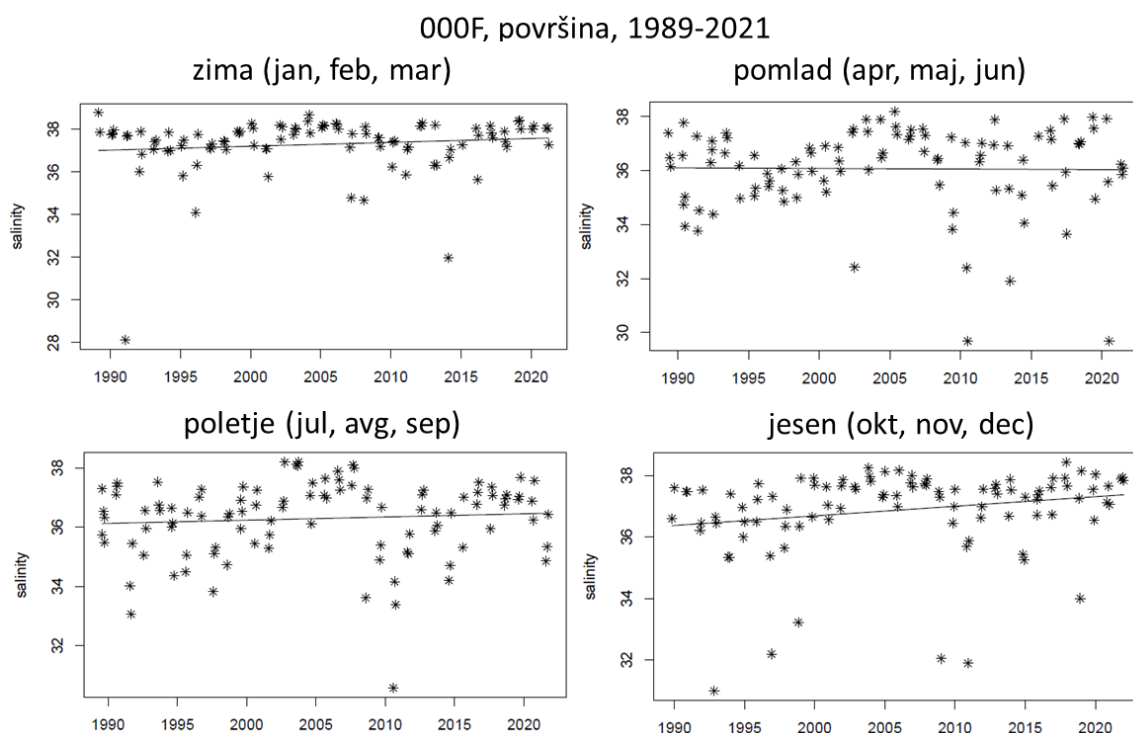


Slika 5: Temperatura morja v površinskem sloju na oceanografski boji Vida v obdobju 2002-2020, kontinuirane meritve. Polna črta prikazuje linearni trend.



Slika 6: Dolgoletni niz slanosti v površinskem sloju postaje 000F v obdobju 1989–2021, prikazane z diagrami kvantilov.

Na sliki 6 z letnimi diagrami kvantilov prikazujemo dolgoletni niz slanosti v površinskem sloju postaje 000F (mesečne meritve) v obdobju 1989–2021, ki kljub velikim nihanjem kaže večletna obdobja z določenimi značilnostmi. V začetnem obdobju 1989–2001 so bile slanosti relativno nizke, z mediano okrog 36,5. Sledilo je obdobje z visokimi slanostmi (2002–2007), ko je bila mediana okoli 37,6, pa tudi razpon vrednosti je bil manjši v primerjavi s predhodnim obdobjem. To je povezano z obdobjem nizkih rečnih pretokov, predvsem reke Soče (Mozetič in sod. 2012), pa tudi padavine so bile v tem obdobju manj intenzivne (Orlando-Bonaca in sod., 2019). Od leta 2008 dalje so slanosti ponovno precej nihale: leta 2010 in 2014 so bile zelo nizke (mediani 34,9 in 35,3), in od leta 2015 dalje ponovno visoke z medianami praviloma nad 37. Zaradi velikih nihanj slanosti je trend v površinskem sloju postaje 000F neznačilen, razen jeseni, ko slanosti v obdobju 1989–2021 statistično značilno narašča za 0,03 na leto (Tabela 9, Slika 7). Nekoliko drugače je že na 5 m globine, kjer so nihanja malo manjša: tu je opazen statistično značilen trend naraščanja slanosti pozimi in jeseni (Tabela 9). V pridnenem sloju, kjer ni velikih nihanj, slanost narašča statistično značilno preko celotnega obdobja in tudi v vseh sezonah (Tabela 9). V skladu z dogajanjem v površinskem sloju je tudi v 5-metrskem in pridnenem sloju najbolj izrazit trend naraščanja slanosti v jeseni. Analiza slanosti v pridnenem sloju na več postajah v slovenskem morju v krajšem recentnem obdobju pokazala še večji trend naraščanja (od 0,04 do 0,08 na leto; Boicourt in sod., 2020).

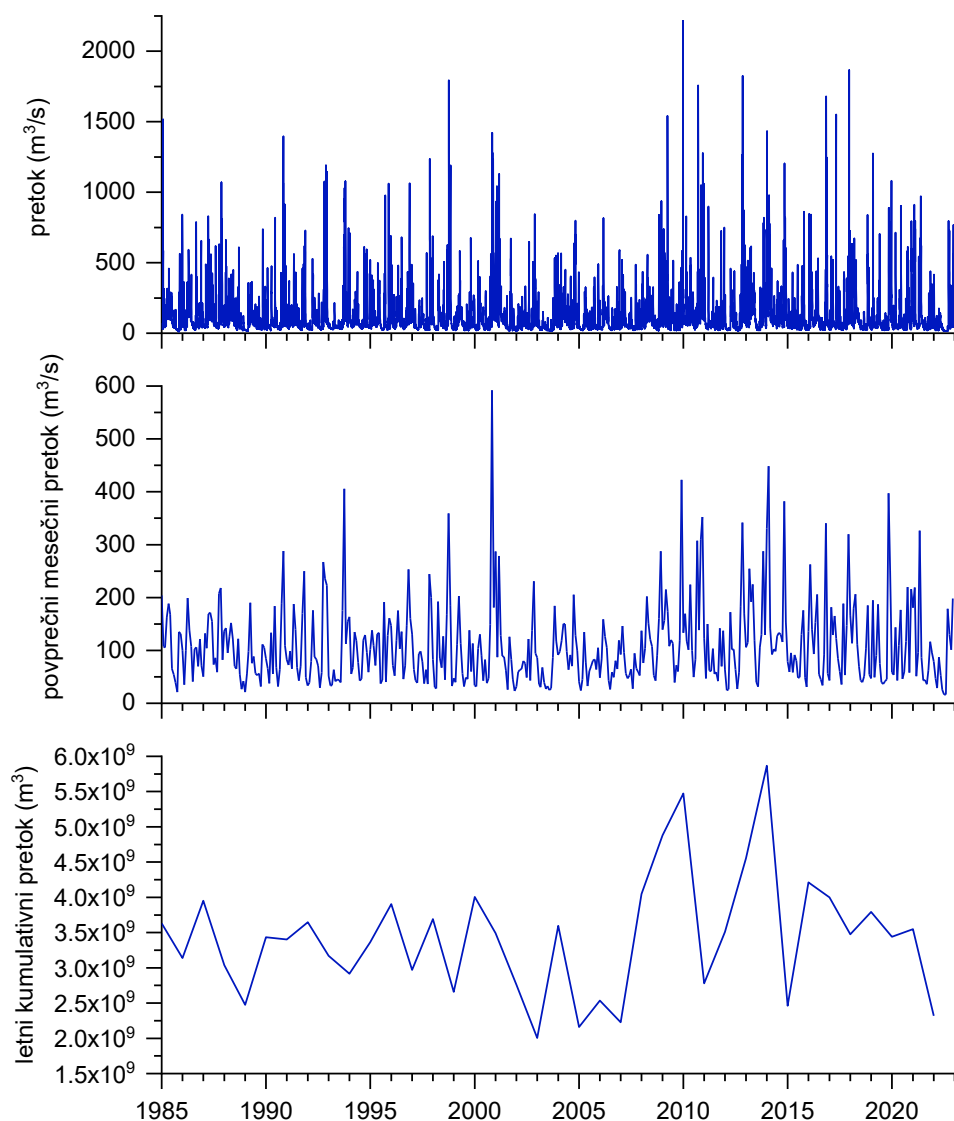


Slika 7: Slanost v površinskem sloju na postaji 000F v različnih sezonah v obdobju 1989-2021 s prikazanim linearnim trendom (polna črta).

4.1.2 Pretoki reke Soče

Predhodne analize pretokov reke Soče, ki je najbolj pomemben sladkovodni vir v Tržaškem zalivu, in tudi reke Pad, ki je najbolj pomemben sladkovodni vir v severnem Jadranu, katerega vpliv včasih sega tudi v slovensko morje (Tinta in sod., 2015), so pokazale na tri hidrološke režime, ki so sovpadali tudi s povprečno slanostjo (Orlando-Bonaca in sod., 2019). Za prvi hidrološki režim (1985–2002) so bili značilni visoki rečni pretoki in nižja slanost (36,5), v drugem, krajšem režimu (2003–2007) so se pretoki obeh rek znižali, čemur je sledila višja povprečna slanost (37,6), nato pa so se v tretjem režimu v obdobju 2008–2015 rečni pretoki ponovno zvišali in slanost se je povrnila na nivo prvega režima. V sušnem obdobju 2003–2007 so se značilno znižali vsi pritoki rek v severni jadrani (Zhang s sod., 2020).

Po obdobju, ki ga je zajemala analiza hidroloških režimov (1985–2015), je v pretokih reke Soče prav tako prihajalo do vsakoletnih nihanj, kar prikazuje slika 8. Najvišji trenutni (dnevni) pretoki so v tretjem režimu in po njem (od leta 2008 do 2017) bolj pogosto dosegali višje vrednosti ($>1500 \text{ m}^3/\text{s}$), kot pred tem (Slika 8, zgoraj), vendar so od leta 2018 dalje ponovno nižji (večinoma $<1000 \text{ m}^3/\text{s}$). Podobna dinamika velja za povprečne mesečne pretoke reke Soče, ki so v tretjem režimu in do leta 2017 večkrat presegli $300 \text{ m}^3/\text{s}$, po letu 2018 pa so bili ponovno nižji (Slika 8, sredina). V tem obdobju so vidna tudi daljša sušna obdobja, kot denimo leta 2018 in še bolj izrazito leta 2022, ki so vplivala tudi na visoke slanosti, izmerjene na postaji 000F v teh obdobjih (Slika 6).



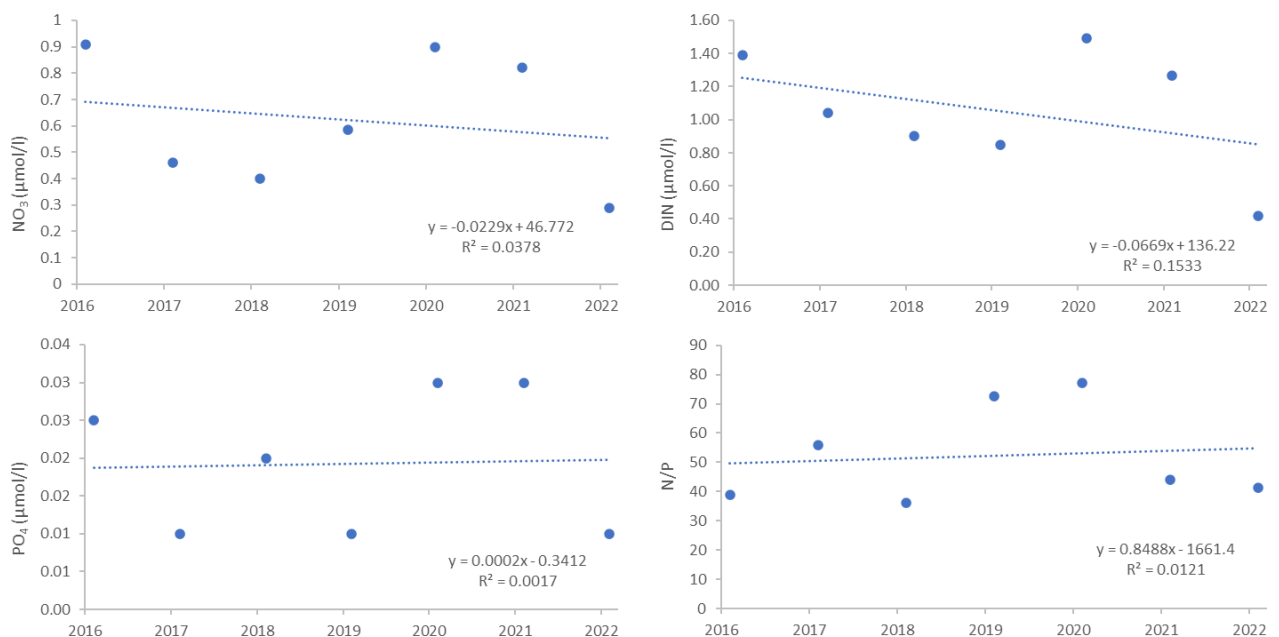
Slika 8: Dolgoletni niz pretoka reke Soče v obdobju 1985–2022: povprečni dnevni pretok (zgoraj), povprečni mesečni pretok (sredina), kumulativni letni pretok (spodaj). Vir podatkov: ARSO.

4.1.3 Značilnosti koncentracij hranilnih snovi

Poglavitni alohtoni vir hranilnih snovi za Tržaški zalivi in tako tudi za slovensko morje so rečni pritoki (Cozzi in sod., 2012), zato ravno spremembe v pretokih znatno vplivajo na značilnosti pelagiala in so pomemben dejavnik pri produktivnosti ekosistema. V predhodnih analizah smo dinamiko dušikovih in fosforjevih hranilnih snovi, ki so poglavitna hranila v morski vodi, podobno kot rečne pretoke obravnavali v okviru treh zgoraj opisanih hidroloških režimov (Orlando-Bonaca s sod., 2019), zato tu na kratko povzemamo ugotovitve. V prvem režimu (1985–2002) so koncentracije raztopljenega anorganskega dušika (v nadaljevanju DIN - dissolved inorganic nitrogen), h katerim največji delež prispeva nitrat, precej nihale, dolgoletno povprečje pa je bilo visoko (4,76 $\mu\text{mol/L}$). V drugem, sušnem režimu (2003–2007) se je povprečna koncentracija DIN znižala na 3,67 $\mu\text{mol/L}$ ob hkratni manjši medletni

variabilnosti. V obdobju tretjega režima (2008–2014) so bile koncentracije DIN v skladu s povišanimi rečnimi pretoki ponovno višje (povprečje 4,45 $\mu\text{mol/L}$). Drugačna je bila dinamika ortofosfata, katerega povprečji sta bili v prvih dveh obdobjih zelo podobni (okoli 0,09 $\mu\text{mol/L}$), v tretjem obdobju pa se je povprečna koncentracija znižala na 0,06 $\mu\text{mol/L}$. Redfieldovo razmerje med anorganskim dušikom in anorganskim fosforjem je bilo v prvem obdobju 118, v tretjem pa 87 (razmerje N/P je v idealnih pogojih okoli 16). Najnižje je bilo to razmerje v sušnem obdobju (povprečje 56), predvsem na račun znižanja koncentracije dušikovih spojin, vendar je razmerje vseskozi potrjevalo fosforjevo limitativnost, ki je značilna za severni Jadran in tudi Tržaški zaliv (Cozzi in Giani, 2011).

Ker je po obdobju, ki ga je zajemala predhodna analiza hranilnih snovi v slovenskem morju (1985–2014) prišlo do spremembe analizne metode, v tem poročilu prikazujemo dinamiko koncentracij hranilnih snovi v površinskem vodnem sloju postaje 000F ločeno za obdobje 2016–2022 in ga ne moremo neposredno primerjati s predhodnimi obdobji. To obdobje je sicer prekratko, da bi se lahko pokazali značilni trendi v letnih koncentracijah hranilnih snovi in v razmerju N/P, lahko pa vidimo variabilnost (Slika 9). Ta v primeru nitrata v grobem sovпада s pretoki reke Soče, saj so najnižje letne mediane v sušnih letih 2018 in 2022. Povprečje koncentracij nitrata za celotno obdobje je, upoštevajoč tudi ekstremne vrednosti, 1,01 $\mu\text{mol/L}$. Podobne ugotovitve veljajo za raztopljen anorganski dušik (v nadaljevanju DIN - *dissolved inorganic nitrogen*). Letne mediane ortofosfata so vse v zelo majhnem razponu 0,01 do 0,03 $\mu\text{mol/L}$, povprečje celega obdobja pa je 0,02 $\mu\text{mol/L}$. Letne mediane so tudi pri N/P razmerju precej variabilne, vendar vse nad Redfieldovim razmerjem 16, če upoštevamo celotno obdobje skupaj z ekstremnimi vrednostmi, pa je povprečno N/P razmerje 84, torej zelo podobno kot v predhodnem obdobju.



Slika 9: Letne mediane koncentracij nitrata (NO₃), raztopljenega anorganskega dušika (DIN), ortofosfata (PO₄) in N/P razmerja s trendno črto v obdobju 2016–2022 v površinskem vodnem sloju postaje 000F.

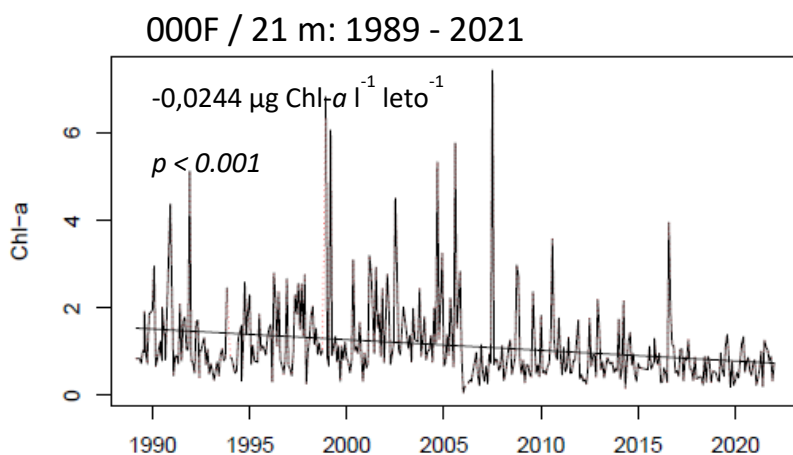
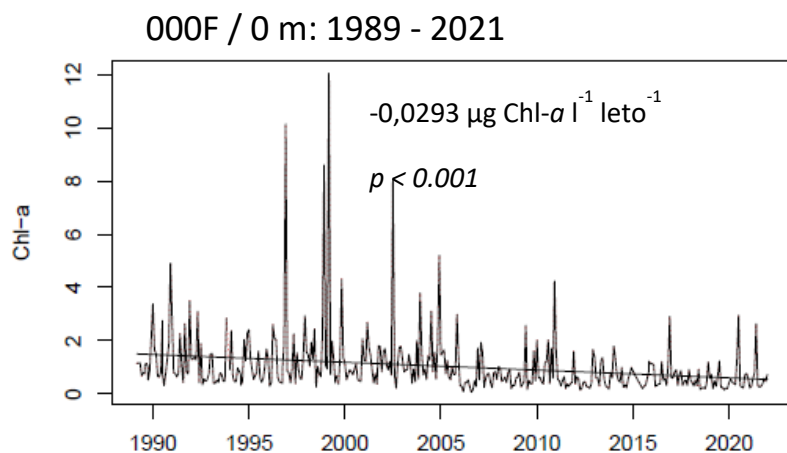
4.2. Analiza podatkov o fitoplanktonskih združbah na območju slovenskega morja

4.2.1 Dolgoročne spremembe biomase fitoplanktona (Chl-*a*)

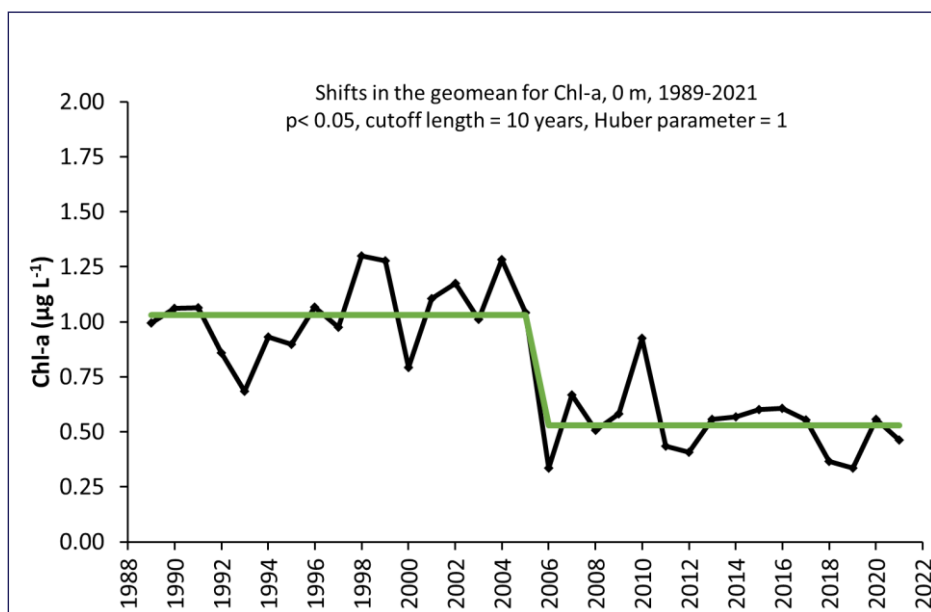
Klorofil *a* (Chl-*a*) je eden najbolj uporabljenih parametrov za oceno biomase fitoplanktona v številnih ekoloških študijah. Več študij, ki slonijo na dolgoročnih podatkovnih nizih tega parametra kaže, da se povprečna biomasa fitoplanktona na globalni, regionalni in lokalni ravni zmanjšuje sočasno z naraščanjem površinske temperature morja. Tipičen primer regionalnega morja, ki doživlja izrazit trend segrevanja v celotnem bazenu (v povprečju 0,4 °C na desetletje v 18-letnem obdobju) in zmanjševanja Chl-*a* v nekaterih njegovih bioregijah, je Sredozemsko morje (El Hourany in sod., 2021).

Jadransko morje in njegov najsevernejši del pri tem nista izjemi. V nekdanje zelo produktivnem severnem Jadranu so se v začetku 21. stoletja zmanjšali simptomi eutrofikacije, medtem ko je bil zabeležen upad Chl-*a* in primarne produkcije (Brush in sod., 2020; Zhang in sod., 2021). Študija iz leta 2010 na satelitskih koncentracijah Chl-*a* iz različnih območij severnega Jadrana je pokazala statistično značilen trend Chl-*a* za celoten bazen v obdobju 1998-2007, ki je bil največji v zimskih mesecih (0,046 mg Chl-*a* m⁻³ leto⁻¹) (Mozetič in sod., 2010). Ta proces, ki smo ga poimenovali kulturna oligotrofizacija, je deloma posledica zmanjšane obremenitve s hranili, vendar na mezoskali nanjo vplivajo tudi podnebni dejavniki (Cozzi in sod., 2019).

Tako je izrazito sušno obdobje v letih 2003-2007, ki smo ga omenili že zgoraj, sprožilo spremembe v hidroloških in oceanografskih lastnostih severnega Jadrana, vključno s Tržaškim zalivom, ki so bile tako velike in statistično značilne, da smo jih v dolgoletni časovni seriji 1985-2015 prepoznali kot spremembe v režimu pretokov velikih rek (Pada in Soče) in površinske slanosti, ki mu je leta 2006 sledila še sprememba v režimu koncentracij Chl-*a* (Mozetič in sod. 2012). Ta upad biomase fitoplanktona smo potrdili tudi z analizo dolgoletnega niza podatkov na postaji 000F v slovenskem morju v veliko daljšem časovnem obdobju (1989-2021), tako na površini kot v pridnenem sloju (slika 10). Trend upadanja koncentracija Chl-*a* v 33-letnem obdobju (0,024 - 0,029 µg Chl-*a* l⁻¹ leto⁻¹) predstavlja približno 2,5 % zmanjšanje fitoplanktonske biomase na leto vzdolž vodnega stolpca. Kljub temu po letu 2006 ni bilo opaziti več nobene spremembe režima. Srednja vrednost sedanjega režima je 0,53 Chl-*a* µg L⁻¹, kar je približno polovico manj kot srednja vrednost prvega režima, ki je znašala približno 1 µg L⁻¹ (slika 11).



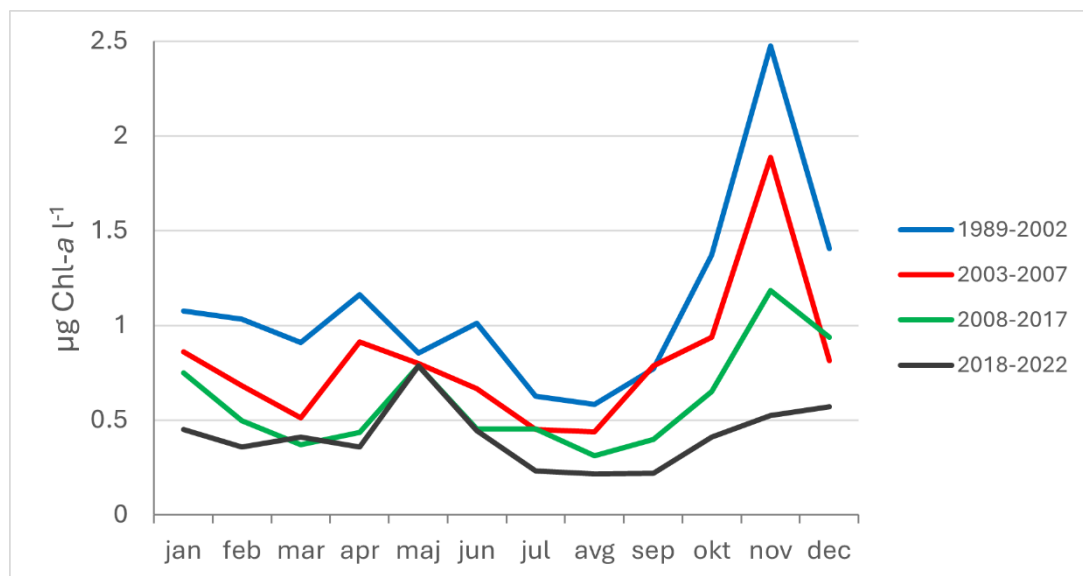
Slika 10: Časovna vrsta koncentracij Chl-a v površinskem in pridnenem sloju na postaji 000F v obdobju 1989-2021, mesečne meritve. Polna črta prikazuje linearni trend.



Slika 11: Časovna vrsta letnih geometrijskih srednjih vrednosti Chl-a v površinskem sloju postaje 000F, obdobje 1989-2021. Debela zelena črta označuje trend, ki kaže spremembo v režimu.

Podobno kot pri rečnih pretokih, lahko glede na hidrološke in tudi oceanografske lastnosti (slanost) dolgo časovno obdobje 1985-2022 razdelimo na 4 obdobja oz. režime: 1985-2002, 2003-2007, 2008-2017, 2018-2022. Ker pa smo z meritvami Chl-a začeli leta 1989, bomo v nadaljevanju prvi režim obravnavali kot obdobje 1989-2002.

Primerjava porazdelitve povprečnih mesečnih koncentracij Chl-a v vsakem od hidroloških režimov pokaže, da se dinamika Chl-a v površinskem sloju postaje 000F med režimi ni veliko spreminjala; vedno se pojavi spomladanski nižji višek, sledijo nizke poletne koncentracije in nato največji letni višek v jesenskem obdobju (Slika 12). Najbolj očitna sprememba torej ni v sezonski dinamiki, ampak v absolutnih koncentracijah Chl-a. Z vsakim naslednjim režimom smo zabeležili upad povprečnih koncentracij: v prvem režimu (1989–2002) so bile spomladanske vrednosti Chl-a okoli $1 \mu\text{g L}^{-1}$ in jesenske skoraj $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$, v drugem režimu (2003–2007) so bila mesečna povprečja nekoliko nižja (razen januarja in februarja), v tretjem režimu (2008–2017) so se koncentracije Chl-a še znižale, spomladanski višek pa je bil najbolj izrazit maja (okoli $0,8 \mu\text{g L}^{-1}$) in se je precej približal novembrskemu višku (okoli $1,2 \mu\text{g L}^{-1}$). V obdobju zadnjega režima (2018-2022) so bile koncentracija Chl-a še nižje in spomladanski višek v maju je bil celo nekoliko višji od jesenskega, ki je v vseh prejšnjih režimih dominiral. V vsakem primeru pa so bile povprečne koncentracije zelo nizke in niso nikoli presegale $1 \mu\text{g L}^{-1}$.



Slika 12: Sezonska dinamika koncentracij Chl-a v površinskem sloju postaje 000F v štirih obdobjih z različnimi hidrološkimi režimi. Prikazane so mesečne geometrijske srednje vrednosti.

Zelo podobno dinamiko in dolgoročne spremembe biomase fitoplanktona opazamo tudi na drugih merilnih mestih v slovenskem morju, na katerih poteka monitoring ekološkega stanja. Vendar za namen tega projektne poročila prikazujemo podatke samo s postaje 000F, ki je tudi edina postaja, na kateri spremljamo sestavo in abundanco fitoplanktonske združbe. Vsekakor so skupna značilnost obalnih in teritorialnih voda slovenskega morja v zadnjih dveh desetletjih v primerjavi z 80. in 90. leti prejšnjega stoletja zelo nizke koncentracije Chl-a, ki kažejo na to, da slovensko morje zaznamuje velika oligotrofija.

4.2 Značilnosti fitoplanktonske združbe in sezonska dinamika glavnih skupin fitoplanktona

Obravnava skupin fitoplanktona v številnih ekoloških študijah temelji na prepoznavanju osebkov pod svetlobnim mikroskopom (npr. Utermöhl metoda) in razločevanju velikosti celic do približno 2 do 5 μm , kar iz analize izloči najmanjše predstavnike fitoplanktona – pikoplankton. Večinoma so to kokalne cianobakterije in majhni evkarionti, za katere se uporabljajo druge metode identifikacije in štetja. V tem poročilu obravnavamo skupine in vrste fitoplanktona, ki smo jih opazovali pod svetlobnim invertnim mikroskopom.

Glavne skupine fitoplanktona, tako po svoji številčnosti vrst in abundanci kot po zastopanosti/pojavljanju tekom leta, so diatomeje, dinoflagelati, kokolitoforidi, včasih tudi silikoflagelati in različni taksoni (deblo, razred) enoceličnih bičkastih alg v velikostnem razredu nanoplanktona (2-20 μm), ki jih je težko prepoznati pod mikroskopom in uvrstiti v pravičen takson. To netaksonomsko oz. ekološko skupino fitoplanktona imenujemo nanofitoflagelati (v nadaljevanju nanoflagelati).

Za Tržaški zaliv je tipična izmenjujoča se dominacija med mešano fitoplanktonsko združbo, v kateri prevladujejo nanoflagelati, in občasnimi namnožitvami diatomej v različnih obdobjih (Vascotto in sod., 2021), s katero se ujemajo tudi rezultati, ki jih tu opisujemo.

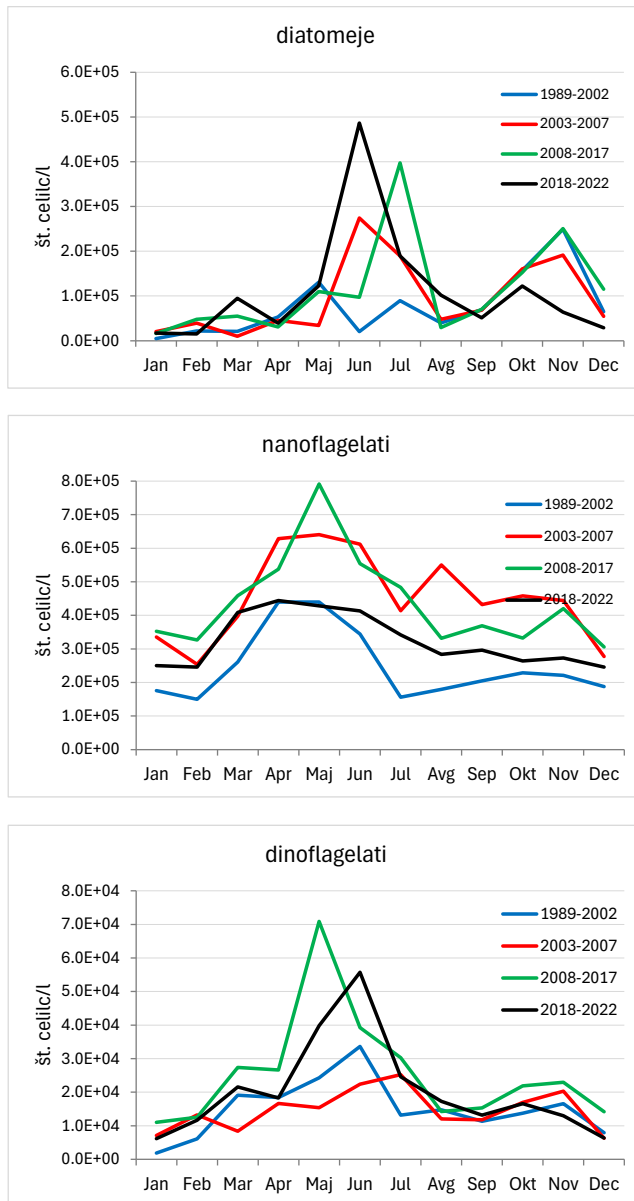
Značilno sezonsko porazdelitev glavnih skupin fitoplanktona prikazujemo, enako kot v primeru koncentracij Chl- α , za vsak hidrološki režim posebej (slika 13). Za vse režime lahko na splošno rečemo, da povprečno letno dinamiko fitoplanktona zaznamujeta dva sezonska viška – spomladanski in jesenski, ki pa se med režimi razlikujeta po intenziteti (abundanca), prevladujočih skupinah in obdobju pojavljanja (mesec) ter trajanju v določeni sezoni (Brush in sod., 2020; Orlando Bonaca in sod., 2019).

V prvem režimu (1989 do 2002), ki so ga zaznamovale evtrofne razmere z visokimi koncentracijami hranilnih snovi in visoko biomaso fitoplanktona, je daljši spomladanski višek (april-maj) tvorila predvsem skupina nanoflagelatov z abundanco okoli 450.000 celic L^{-1} . Nasprotno so k jesenskemu višku največ doprinesle diatomeje z okoli 250.000 celic L^{-1} .

Premik od evtrofnih razmer k oligotrofnim razmeram v drugem režimu (2003 do 2007) je zaznamovala prevlada nanoplanktonske frakcije. Abundance so bile preko celega leta precej višje na račun nanoflagelatov (največ okoli 750.000 celic L^{-1} od maja do junija), diatomeje pa so v nasprotju s predhodnim režimom razvile razmeroma visok spomladanski višek v maju in juniju (okoli 400.000 celic L^{-1}), ki je bil celo višji od običajnega jesenskega viška v novembru (okoli 250.000 celic L^{-1}). Če so bila v prvem, evtrofnem pogosta jesenska cvetenja diatomej praviloma z abundancami preko milijon celic na liter, tako visokih vrednosti v drugem režimu nismo zabeležili (Mozetič in sod., 2012).

Vzporedno s povečanim rečnim pretokom v tretjem režimu (2008 do 2017), se je spremenila letna dinamika fitoplanktona. Namesto enega spomladanskega viška sta se pojavila dva približno enaka viška, prvi maja na račun nanoflagelatov (skoraj 800.000 celic L^{-1}) in drugi julija na račun diatomej (okoli 400.000 celic L^{-1}), ki je bil po intenziteti sicer podoben junijskemu višku iz sušnega obdobja, le da se je pojavil mesec kasneje. Jesenski višek diatomej v novembru se je ohranil in dosegel vrednosti iz prvega režima (250.000 celic L^{-1}). V tretjem režimu se je precej spremenila tudi dinamika dinoflagelatov. Medtem ko so imeli dinoflagelati v prvih dveh

režimih pomladni do zgodnje poletni višek z okoli 25.000 celic L⁻¹, je bila v tretjem režimu njihova abundanca nekoliko višja skozi celo leto, še posebej pa se je povišala ob spomladanskem višku (majsko povprečje 70.000 celic L⁻¹).



Slika 13: Sezonska dinamika treh najpomembnejših skupin fitoplanktona v površinskem sloju postaje 000F v štirih obdobjih z različnimi hidrološkimi režimi. Prikazane so mesečne geometrijske srednje vrednosti abundanc. Pozor na različne skale na y osi.

Tudi v zadnjem obdobju (2018 do 2022) so bili nanoflagelati najštevilčnejša skupina fitoplanktona, njihova dinamika pa je bila podobna tisti iz prejšnjega režima; najvišje abundance so dosegali vse od marca do junija (do 650.000 celic L⁻¹), nekoliko nižje pa jeseni (do 440.000 celic L⁻¹). Diatomeje so imele v prejšnjih obdobjih izmed vseh skupin fitoplanktona najbolj nepredvidljivo sezonsko dinamiko z več viški v različnih mesecih, ko so abundance presegle milijonske vrednosti. Nasprotno so se take namnožitve v letih 2018 do 2022 pojavile samo trikrat, vse v spomladu v letih 2019 in 2020. Najnižje abundance so bile značilne za obdobje od decembra do februarja, ko niso presegle 80.000 celic L⁻¹. Dinoflagelati so v tem

obdobju ohranili podobno dinamiko in številčnost kot v obdobju poprej. Višek smo zabeležili v juniju (povprečje 55.700 celic L⁻¹, največja abundanca 189.000 celic L⁻¹).

Kokolitoforidi, ki jih posebej sicer ne prikazujemo, so tudi pomembna skupina fitoplanktona. Zanje je značilno, da dosegajo najvišje abundance pozno jeseni in pozimi, zlasti januarja in februarja, ko imajo ostale tri skupine praviloma najnižje abundance. V obdobju 2018 do 2022 so abundance kokolitoforidov novembra in januarja narasle do okoli 250.000 celic L⁻¹, kar je višje od maksimalnih abundanc iz prejšnjih obdobj.

Kljub slabšim hranilnim razmeram so se torej v zadnjih dveh režimih abundance fitoplanktona v nekaterih obdobjih povišale, verjetno predvsem na račun majhnih diatomej iz rodov *Cyclotella* in *Chateroceros* (julij) ter dinoflagelatov in nanoflagelatov (maj). Zadnji dve skupini lahko tudi alternativne prehranjevalne strategije – miksotrofija in heterotrofija, kar v hranilno limitirajočem okolju predstavlja evolucijsko prednost. Prav premik k fitoplanktonski združbi z manjšo povprečno velikostno strukturo, katere predstavniki se sicer lahko močno namnožijo, botruje razkoraku med povečanimi abundancami fitoplanktona in nižjo klorofilno biomaso v zadnjih dveh režimih.

4.2.3 Spremembe v velikostni sestavi fitoplanktona

Poleg taksonomske pripadnosti, ki nudi vpogled v nekatere značilnosti fitoplanktona, denimo prevladujoče oblike privzema hranilnih snovi ali potrebo po določenih elementih, fitoplanktonsko združbo opišemo tudi glede na njeno velikostno sestavo. Velikost fitoplanktonskih celic namreč igra pomembno vlogo v fiziologiji fitoplanktona in ima velik vpliv na ekologijo in biogeokemijo vodnih ekosistemov (Finkel in sod., 2010). Upošteva povprečen velikostni razpon fitoplanktonskih celic, te uvrščamo v tri velikostne razrede: piko(fito)plankton (0,2-2 μm), nano(fito)plankton (2-20 μm) in mikro(fito)plankton (20-200 μm).

Za ponazoritev sprememb v velikostni sestavi fitoplanktona v slovenskem morju prikazujemo izsledke nedavne študije iz Tržaškega zaliva, ki je bila narejena na podlagi fotosinteznih pigmentov fitoplanktona, t.i. biomarkerjev, z uporabo HPLC metode (Flander-Putrlje in sod., 2022). Analizirani so bili vzorci morske vode s postaje 00BF, ki leži v bližini oceanografske boje 'Vida' in postaje 000F (Slika 1). Vzorci so bili zajeti na treh globinah vodnega stolpa v obdobju 2007–2018.

Delež Chl-*a*, ki glede na koncentracije biomarkerskih pigmentov odpade na posamezne razrede ali debela enoceličnih alg, smo uporabili za določitev biomase Chl-*a* v posameznem velikostnem razredu fitoplanktona. V mikroplankton smo glede na povprečno velikost predstavnikov uvrstili diatomeje in dinoflagelate, v nanoplankton haptofite (sem spadajo med drugim tudi kokolitoforidi), kriptofite in silikoflagelate (Dictyochophyceae), v pikoplankton pa klorofite in cianobakterije.

Izračunani linearni trendi po sezonah in na letnem nivoju kažejo porast biomase pikoplanktona v drugi polovici leta (poletje, jesen) in na letni ravni v vseh globinah (Tabela 9). V pridnenem sloju se je hkrati zmanjšala biomasa mikroplanktona; negativen trend je bil statistično značilen

v poletnem obdobju in na letni ravni. Biomasa nanoplanktona se je povečala le poleti v površinskem in srednjem sloju, jeseni pa v pridnenem sloju.

O podobnih izsledkih poročajo iz Sredozemskega morja (El Hourany in sod., 2021). V raziskavi, ki je prav tako slonela na koncentracijah biomarkerskih pigmentov, so ugotovili, da se v različnih bioregijah koncentracija diatomej zmanjšuje, koncentracija cianobakterij pa povečuje, s tem pa celotno Sredozemsko morje prehaja v oligotrofno stanje vzhodnega Sredozemlja.

Tabela 9: Linearni sezonski in letni trendi biomase v, izražene kot Chl-a, treh velikostnih razredov fitoplanktona (mikro, nano in piko) na globinah 1, 10 in 21 m na postaji OOBF v obdobju 2007–2018. Zelene puščice označujejo pozitiven trend, rdeče pa negativen trend. Statistično značilni trendi pri $p = 0,051-0,1$ so označeni z eno puščico, statistično značilni trendi pri $p \leq 0,05$ pa z dvojnimi puščicami. (povzeto po Flander-Putrlje in sod., 2022).

	0 m			10 m			21 m		
	mikro	nano	piko	mikro	nano	piko	mikro	nano	piko
zima (jan-mar)									
pomlad (apr-jun)									
poletje (jul-sep)		↑			↑↑	↑↑	↓↓		↑↑
jesen (okt-dec)			↑			↑↑		↑↑	↑↑
letno povprečje			↑			↑↑	↓↓		↑↑

4.2.4 Škodljive vrste fitoplanktona na območjih slovenskih gojišč školjk

Monitoring škodljivih vrst fitoplanktona na treh območjih gojišč užitne klapavice (Slika 1) poteka v Sloveniji vse od leta 1994. Izmed petih kategorij mikroalg, ki povzročajo škodljiva cvetenja alg (angl. Harmful algal blooms – HAB; Lassus in sod., 2016), se monitoring osredotoča na kategorijo tistih vrst, ki proizvajajo toksine. Ti se kopičijo v morski hrani, zlasti v školjkah in ribah, in tako predstavljajo tveganje za zdravje ljudi ob zaužitju oporečne hrane in gospodarsko škodo ob zaprtju prodaje školjk.

Rezultati dolgoletnega spremljanja HAB vrst kažejo, da se redno, tj. vsako leto, z dokaj značilnim vzorcem in z občasno povečanimi abundancami pojavljajo vrste, ki povzročajo amnezijsko zastrupitev s školjkami - ASP (vrste iz diatomejskega roda *Pseudo-nitzschia*), paralitično zastrupitev s školjkami – PSP (dinoflagelati iz rodu *Alexandrium*), diaroično zastrupitev s školjkami – DSP (dinoflagelati iz rodov *Dinophysis* in *Phalacroma* ter vrsta *Prorocentrum lima*) in vrste, ki proizvajajo jesotoksine (*Lingulodinium polyedra*, *Protoceratium reticulatum*). Ker vrste iz rodu *Karenia* najdemo le občasno in v nizkem številu, je nevarnost za nevrotoksično zastrupitev s školjkami (NSP) v tem trenutku skoraj nična. Najnovejša raziskava je pokazala, da je v slovenskem morju 34 potencialno toksičnih vrst (Tabela 10, Henigman in sod., 2024) kar je enako kot število toksičnih vrst v jadranskih pristaniščih (Mozetič in sod., 2019), čeprav ne gre za popolnoma iste vrste.

Kljub temu pa so diaroični toksini, tj. okadaična kislina (OA) in dinofizis toksini (DTXs), ki povzročajo DSP sindrom, edini toksini, ki so bili zaenkrat izmerjeni v školjkah iz slovenskega morja, tudi v koncentracijah nad zakonsko dovoljeno mejo, in se praviloma pojavijo v školjkah vsako leto (Francé in sod., 2013; Henigman in sod., 2024). Vseeno pa je prav zaradi stalnega pojavljanja vrst iz rodov *Alexandrium* in zlasti *Pseudo-nitzschia*, med katerimi je tudi nekaj takih, za katere je bila ugotovljena toksičnost izoliranih slovenskih in jadranskih sevov v laboratorijskih pogojih (Penna in sod., 2013; Pistocchi in sod., 2012; Turk Dermastia in sod., 2022), pomembno vzdrževati reden monitoring teh potencialno toksičnih vrst.

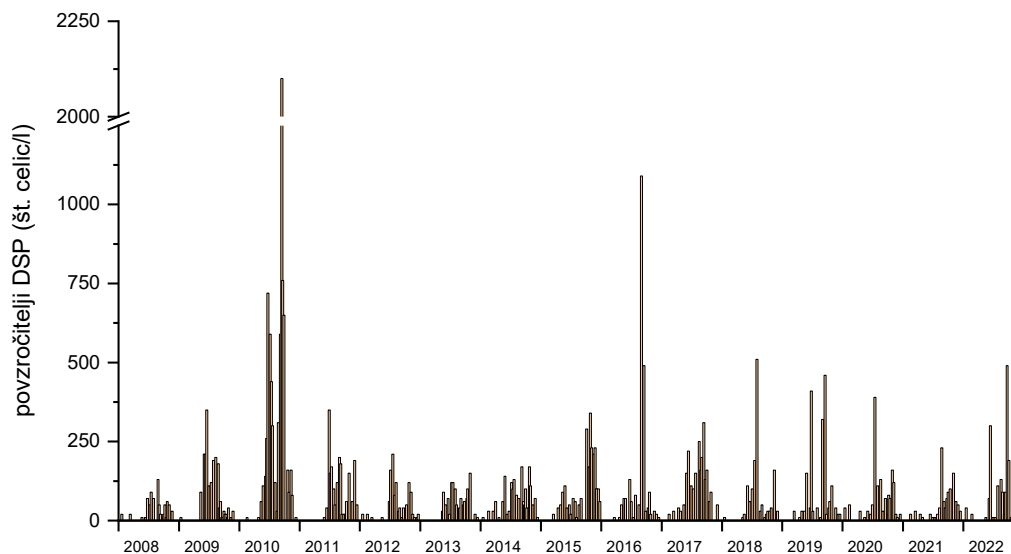
Tabela 10: Seznam toksičnih / potencialno toksičnih vrst, najdenih na območjih gojišč užitne klapavice v slovenskem morju (povzeto po Henigman in sod., 2024).

vrsta/takson	Strunjan (0024)	Seča (0035)	Debeli rtič (0DB2)
ASP povzročitelji			
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> group	X	X	X
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> group	X	X	X
<i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>galaxiae</i>	X	X	X
PSP povzročitelji			
<i>Alexandrium</i> cf. <i>concovum</i>	X	X	X
<i>Alexandrium insuetum</i>	X	X	X
<i>Alexandrium minutum</i>	X	X	X
<i>Alexandrium</i> cf. <i>tamarense</i>	X	X	X
<i>Alexandrium pseudogonyaulax</i>	X	X	X
<i>Alexandrium</i> spp.	X	X	X
DSP povzročitelji			
<i>Dinophysis acuminata</i>		X	X
<i>Dinophysis acutoides</i>			X
<i>Dinophysis caudata</i>	X	X	X
<i>Dinophysis fortii</i>	X	X	X
<i>Dinophysis hastata</i>	X	X	X
<i>Dinophysis nasutum</i>	X	X	X
<i>Dinophysis norvegica</i>	X	X	
<i>Dinophysis ovum</i>	X	X	X
<i>Dinophysis</i> cf. <i>parva</i>	X		X
<i>Dinophysis parvulum</i>	X	X	X
<i>Dinophysis sacculus</i>	X	X	X
<i>Dinophysis similis</i>	X	X	X
<i>Dinophysis schuettii</i>			X
<i>Dinophysis tripos</i>	X	X	X
<i>Dinophysis</i> spp.	X	X	X
<i>Phalacroma doryphorum</i>			X

<i>Phalacroma mitra</i>	X	X	X
<i>Phalacroma rapa</i>	X		
<i>Phalacroma rotundatum</i>	X	X	X
<i>Phalacroma</i> spp.			
<i>Prorocentrum lima</i>		X	X
YTX povzročitelji			
<i>Lingulodinium polyedra</i>	X	X	X
<i>Protoceratium reticulatum</i>	X	X	X
NSP povzročitelji			
<i>Karenia</i> cf. <i>papilionacea</i>	X	X	X
<i>Karenia</i> spp.			

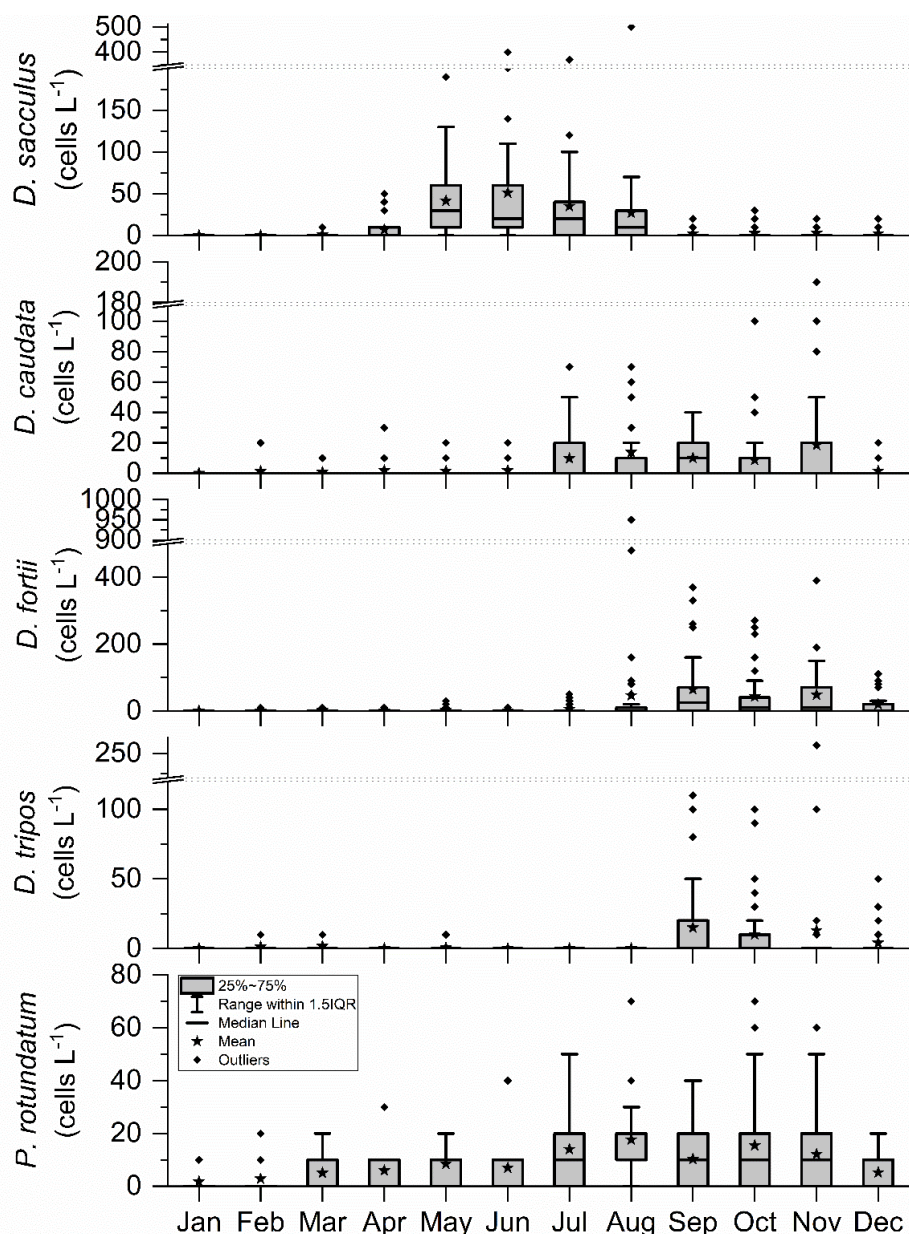
Podrobnejše spremljanje 19 vrst povzročiteljev DSP kaže, da gre za dokaj stalen sezonski vzorec pojavljanja, ki se med leti razlikuje le v skupni abundanci (slika 14). Najpogostejše in najštevilčnejše DSP vrste so *Dinophysis caudata*, *D. fortii*, *D. sacculus*, *D. tripos* in *Phalacroma rotundatum* z značilnim vzorcem pojavljanja (slika 13). Najprej se aprila v vzorcih morske vode pojavi *D. sacculus*, ki doseže najvišje abundance v poznih spomladanskih in poletnih mesecih, od septembra dalje pa je le redko zaznan. Njemu sledi *D. caudata*, katerega abundanca se znatno poveča julija in na taki ravni vztraja do novembra. *D. fortii* je tipična jesenska vrsta z visokimi abundancami od septembra do novembra in nižjimi v decembru, medtem ko ga v prvi polovici leta skorajda ni opaziti. Podoben vzorec je značilen tudi za *D. tripos*, vendar s še ožjim časovnim oknom kot *D. fortii*, saj ga praviloma v nekoliko večjem številu najdemo le septembra in oktobra. Povsem nasprotna je dinamika vrste *P. rotundatum*, ki je prisotna skoraj v vseh mesecih in tudi ne kaže nekega značilnega vzorca sezonskih viškov.

Značilnost vrst *Dinophysis* in *Phalacroma* je tudi ta, da se v primerjavi z drugimi fitoplanktonskimi vrstami pojavljajo v zelo nizkih abundancah (slika 15), vendar lahko že nekaj 100 celic na liter povzroči toksičnost školjk. V obdobju 2014 do 2019 smo največje abundance zabeležili pri vrstah *D. fortii* (950 celic L⁻¹, avgust 2016) in *D. sacculus* (500 celic L⁻¹, avgust 2018), obakrat na školjčišču na Debelem rtiču (postaja ODB2).



Slika 14: Dinamika fitoplanktonskih vrst, ki povzročajo diaroično zastrupitev s školjkami (DSP), na postaji ODB2 v obdobju 2008–2022. (vir: Orlando Bonaca in sod., 2023).

Z vpeljavo natančne in občutljive analitične LC-MS/MS metode za določanje lipofilnih toksinov, kamor spadajo OA in DTXs, v nacionalni monitoring leta 2014, se je izkazalo, da je OA prevladujoč DSP toksin v slovenskih školjkah (v 97 % vseh pozitivnih testov) in predstavlja največje tveganje za varnost hrane (Henigman in sod., 2024). V obdobju 2014-2019 smo pozitivne teste na DSP toksine zabeležili aprila in maja ter od septembra do decembra, koncentracije OA v užitnih klapavicah pa so dovoljeno mejo za prodajo školjk presegle v septembru, oktobru in novembru, in sicer na vseh območjih gojišč školjk (Henigman in sod., 2024). Opazimo lahko, da toksičnost školjk sovпада z vzorcem pojavljanja petih najpogostejših DSP povzročiteljev, močna in statistično značilna korelacija med abundanco *D. fortii* in koncentracijami OA ($r = 0,611$, $p < 0,001$) pa kaže na to, da naj bi bila ta vrsta glavni vzrok za kopičenje toksina v školjkah iz slovenskega morja.



Slika 15: Prikaz sezonska dinamika najpogostejših DSP vrst za vsa tri območja gojišč školjk skupaj v obdobju 2014-2019. Pozor na različne velikostne razrede na y osi. (vir: Henigman in sod, 2024).

4. 3 Pregled obstoječih praks školjkarstva

Na osnovi semi-strukturiranega intervjuja smo naredili pregled obstoječih praks v slovenskem školjkarstvu. Vprašalnik je bil strukturiran po vsebinskih sklopih: podatki o poslovnem modelu in zagon dejavnosti, proces gojitve školjk, proizvodnja in prodaja školjk, gojitvena infrastruktura in raba prostora, nadzor, finančni vidiki gojitve školjk, težave ter rešitve, ki jih predlagajo, in je obsegal 73 vprašanj. Podatke iz intervjujev smo opremili še s podatki o zgodovini školjkarstva v Sloveniji, dodali smo še aktualne podatke o tržišču in podatke pridobljene iz baze SURS (število zaposlenih v sektorju po letih, masa gojenih školjk po letih, masa gojenih vrst v marikulturi od leta 1990 ter površina namenjena za školjkarstvo) ter jih

interpretirali. Članek » The need for innovations to secure the future of artisanal mussel farming in the coastal sea of the Gulf of Trieste (Slovenia)« smo v letu 2024 objavili odprtem dostopu pod licenco CC BY-NC-ND v reviji Aquaculture Reports, avtorji so Andreja Ramšak, Tine Bizjak, Uroš Robič, Manca Kovač Viršek, <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102166> . Podatki ankete so v repozitoriju projekta.

4. 4 Analiza fiziološkega stanja klapavic v školjčišču ter simulacija učinkov toplotnega stresa na školjke

Naredili smo delovne protokole za vzorčenje v školjčiščih ter za laboratorijske analize kondicijskih indeksov, za meritve lupin, za meritve jakosti pritrjevanja školjk na podlago z bisusnimi nitmi, za biomarkerske teste. Pripravili smo pisna navodila za izvajanje vzorčenja na školjčišču, za transport školjk in obdelavo vzorcev v laboratoriju ter podrobna navodila za izvajanje predvidenih testov.

Dne 25. 5. 2023 smo opravili poskusno vzorčenje v školjčišču na Debelem rtiču. Debeli rtič smo izbrali na podlagi skupnega dogovora s školjkarjem v letu 2022, ob času dogovora je bilo to školjčišče zelo primerno mesto, kjer so skozi celo leto pobirali klapavice in ni bilo plenilcev, dostop bi bil omogočen s plovilom školjkarja, kar bi omogočilo tudi vzorčenje vode za analize mikroplastike ter vzorčenje klapavic za vse predvidene analize. Odločili smo se, da bomo spremljali isto kohorto klapavic na školjčišču na Debelem rtiču skozi obdobje enega leta začevši s septembrom 2023. Po prvotnem načrtu smo se nameravali vsak mesec priključiti školjkarju pri pobiranju klapavic, a zaradi prej omenjenih vzrokov smo morali načrte spremeniti. Prav tako so školjkarji sporočili, da so zmanjšali izhode na školjčišča. Odločili smo se, da bomo analize opravljali na najmlajši kohorti klapavic. Zaradi intenzivnega plenjenja orad tudi v tem školjčišču v poletju 2023 smo se odločili za premestitev mrežic s školjkami na školjčišče v Piranskem zalivu. S podjetjem Mytilus smo se dogovorili za lokacijo za redna vzorčenja v školjčišču v Piranskem zalivu, ki smo jih izvajali od novembra 2023 do septembra 2024. Vzorčenja smo pričeli šele v jesenskem času 2023, ker smo želeli imeti čimbolj enoten vzorec (ki bi predstavljal spomladansko presajeno kohorto) ter zaradi intenzivnega plenjenja orad v školjčiščih ob celotni obali (ki je bilo še posebej intenzivno septembra 2023 – ustno sporočilo Mitja Petrič). Nato smo vsak mesec s plovilom NIB vzorčili zahtevano število školjk (cca 300 školjk) in izmerili okoljske parametre.



Slika 16: Postavitev šopov klapavic v školjčišču v Piranskem zalivu (8.11.2023). Foto: M. Petrič.

Klapavice so bile nasajene dne 8. 11. 2023 v dogovoru s školjkarjem Mitja Petrič na školjčišče v Piranskem zalivu, kamor je presadil 10 šopov klapavic, vsakega v dolžini 5 m iz školjčišča na Debelem rtiču (Slika 16). Šopi so bili nameščeni na linijo na začetku školjčišča v Piranskem zalivu (koordinate 45,4971, 13,5828), kar omogoča enostaven dostop s plovili MBP brez nevarnosti, da se poškodujejo nosilne linije s šopi. Na podlagi prejšnjih izkušenj smo izračunali, da bi nameščeni šopi zadostovali za načrtovanih 12 vzorčenj. Na presajenih šopih v Piranskem zalivu smo nato v mesecu decembru 2023 opazili, da so spodnji deli mrežic v dolžini zadnjih 1,5 metrov prazni (glej Sliko 17). Vzroka nismo ugotovili, obstaja možnost, da so klapavice odpadle zaradi šibkih bisusnih niti ali pa so klapavice plenili različni plenilci (tu naštevamo možne plenilce kot so orade, sinjemodne rakovice ali kakšen drug plenilec). V mesecu marcu 2024 smo morali prositi školjkarja, da je nasadil dodatne šope klapavic v školjčišče v Piranskem zalivu (klapavice so bile presajene iz školjčišča ob Debelem rtiču).

Vzorčili smo vedno zgodaj dopoldan, odrezani del šopa s školjkami smo takoj shranili v toplotno izoliran transportni zaboj. Z ročno multiparametrično sondo (WTN multi 3620 IDS, senzor TetraCon 925 (temperatura in slanost), senzor FDO 925 (kisik, temperatura)) smo na globini 0,5 m izmerili površinsko temperaturo morske vode, vsebnost kisika, slanost (Tabela 11). Na vzorčnem mestu in na isti globini smo odvzeli še vzorec morske vode za analizo hranil (nitrati, nitriti, fosfat, silikat, amoniak) ter za analize vgrajenega dušika v klapavico.

Tabela 11: Fizikalni in kemijski parametri na vzorčevalnem mestu v Piranskem zalivu (0035) izmerjeni z ročno sondo na globini 0,5 metra, število živih in mrtvih klapavic v nasajenih šopih po mesecih v školjčičšču v Piranskem zalivu.

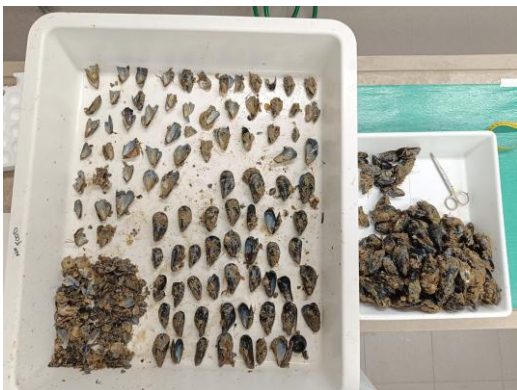
Datum vzorčenja	T morske vode (°C)	Raztopljeni kisik (mg/L)	Slanost (PSU)	T zraka (°C)	Hitrost vetra (m/s)	Smer vetra (°kotne)	Velikost vzorca (št. prešteti klapavic)	Število živih klapavic	Število mrtvih klapavic	Opomba
20.11. 2023	12,6	8,67	37,4	12,6	0,6	89	208	120 (58%)	88 (42%)	1.5 m mrežice
18. 12. 2023	13,8	9,7	37,6	8,8	1,5	199	216	122 (56%)	94 (44%)	1.5 m mrežice, spodnji del mrežice je bil prazen
23.1.2024	11,7	10,5	36,8	10,5	3,0	309	437	100 (23%)	337 (77%)	Klapavice preštete po celotni mrežici
12. 2. 2024	11,6	10,5	37,5	10,2	0,9	7	376	75 (27%)	201 (73%)	Klapavice preštete po celotni mrežici
18. 3. 2024	13,3	11,08	36,2	11,9	0,8	87	589	107 (18%)	482 (82%)	Klapavice preštete po celotni mrežici
15. 4. 2024	18	10,12	35,3	22,5	2,8	156	329	263 (80%)	66 (20%)	Klapavice preštete po celotni mrežici
15. 5. 2024	17,8	10,81	36	19,7	0,9	268	630	506 (80%)	124 (20%)	Klapavice preštete po celotni mrežici
17. 6. 2024	24,1	7,56	31,4	25,4	0,9	21	563	495 (88%)	68 (12%)	Klapavice preštete po celotni mrežici
10. 7. 2024	27,3	9,25	34,4	29	0,3	134	371	294 (79%)	77 (21%)	Klapavice preštete po celotni mrežici

avgust	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Klapavice preštete po celotni mrežici
10. 9. 2024	26,1	8,02	34,2	20,2	0,9	135	372	71 (19%)	301 (81%)	Klapavice preštete po celotni mrežici

Prvo vzorčenje smo opravili 20. 11. 2023 na školjčičišču v Piranskem zalivu. Odrezali smo 1,5 m spodnjega dela viseče mrežice s klapavicami. Ob vsakem naslednjem vzorčenju smo morali uporabiti celotno mrežico, ker je bilo v visečih mrežicah vedno več mrtvih klapavic, spodnji del mrežice pa prazen (vzroka ne moremo opredeliti, ker je lahko posledica plenjenja različnih plenilcev ali odpadanja klapavic s šopa, glej Slika 17). Klapavice smo transportirali v izolirani komori na temperaturi morske vode, prešteli smo žive in mrtve klapavice, odvzeli smo tkiva za najbolj občutljive biokemične analize (encimi antioksidativnega odziva, nevrotoksičnost acetilholin esteraza) in jih zamrznili na -80°C . Lupine mrtvih klapavic smo razvrstili glede na poškodbe (npr. zlomljene lupine, ki so posledica plenjenja orad, rakovic ali drugih plenilcev, ki lomijo lupine); prazne lupine obraščene z vitičnjaki; če je lupina poškodovana smo šteli samo lupine z anteriornim delom imenovan umbo (Slika 18 in slika 19). V laboratoriju smo fotografirali obrast in vidne parazite (ploske črve).



Slika 17: Vzorčeni šop klapavic v decembru 2023, spodnji del mrežice je prazen. Foto: Ž. Muhič, NIB.



Slika 18: Razvrščanje živih in mrtvih klapavic ter njihovih lupin. Foto: Ž. Muhič, NIB.



Slika 19: Klapavice razvrščene za meritve lupine in viscere, pred meritvami obrast na lupinah previdno odstranimo. Foto: Ž. Muhič, NIB.

4. 4. 1 Kondicijski indeks

Klapavicam prevladujočega velikostnega razreda smo izmerili lupino (dolžino, širino in višino (za izračun volumna), celotno viscero smo postrgali z lupine in popivnali vodo na papirnati brisački, nato smo jo odložili v tehtalne posodice. Najprej smo izmerili mokro maso celotne viscere in lupin in nato oboje posušili v liofilizatorju najmanj 48 ur pri nizkem tlaku in temperaturi -50 °C. Po sušenju smo stehali suho maso in izračunali kondicijski indeks (Lobel in sod., 1991, glej Enačba 1). Shema za meritve lupine je prikazana na Sliki 20.

$$CI = \frac{SO}{LE \times WI \times HE}$$

CI = kondicijski indeks [g*cm⁻³]

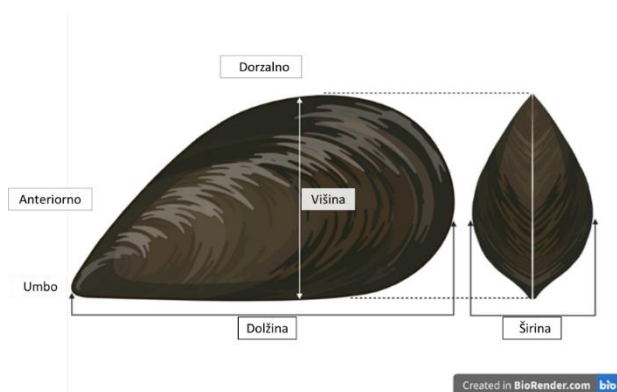
SO = suha masa viscere in gonad [g]

LE = dolžina [cm]

WI = širina [cm]

HE = višina [cm]

Enačba 1: Kondicijski indeks (CI) školjk po Lobel in sod., 1991.



Slika 20: Morfološke meritve lupine za kondicijski indeks (avtor: T. Kobal, NIB).

Lupina klapavice predstavlja substrat za pritrjevanje epibiontov. Obrast na klapavicah je pomembna, ker lahko vpliva oziroma zavira pritrjevanje bisusnih niti, lahko pa je tudi tekmeč za hrano. Menimo tudi, da je potrebno pri vsakem vzorčenju pregledati obrast na klapavicah, še posebej kadar jo tvorijo filtratorski organizmi ali drugi organizmi za katere je znano, da vplivajo na klapavice (nekatero morske vetrnice preprečujejo pritrnitev na lupino drugim klapavicam, ker postane površina “spolzka”). Poleg tega smo pri obdelavi vzorcev opazili, da ima precejšen odstotek klapavic viscero obarvano v oranžno. Obrast na klapavicah smo opazovali *ad hoc* ali pa so podatki pridobljeni iz obvestil, ki so jih posredovali školjkarji. Omenimo naj prisotnost ploskih črvov (Slika 21) in poškodbe lupine (Slika 22).



Slika 21: Plenilci iz skupine ploskih črvov. Foto: J. van den Berg, NIB.



Slika 22: Poškodbe lupine po plenjenju, plenilec ni znan. Foto: Ž. Muhič, NIB.

V avgustu smo vzorčevali klapavice, a je prišlo do pogina klapavic, ponovno smo vzorčevali v septembru (glej Tabelo 11). Dosedanji rezultati za kondicijski indeks so zbrani v zbirni tabeli (Tabela 12), kjer so prikazane povprečne vrednosti izmerjenih in izračunanih parametrov po posameznem vzorčenju.

Tabela 12. Vrednosti kondicijskih indeksov klapavic vzorčenih v školjčičišču v Piranskem zalivu (vrednosti so prikazane kot povprečje vseh meritev v vzorcu \pm standardna deviacija).

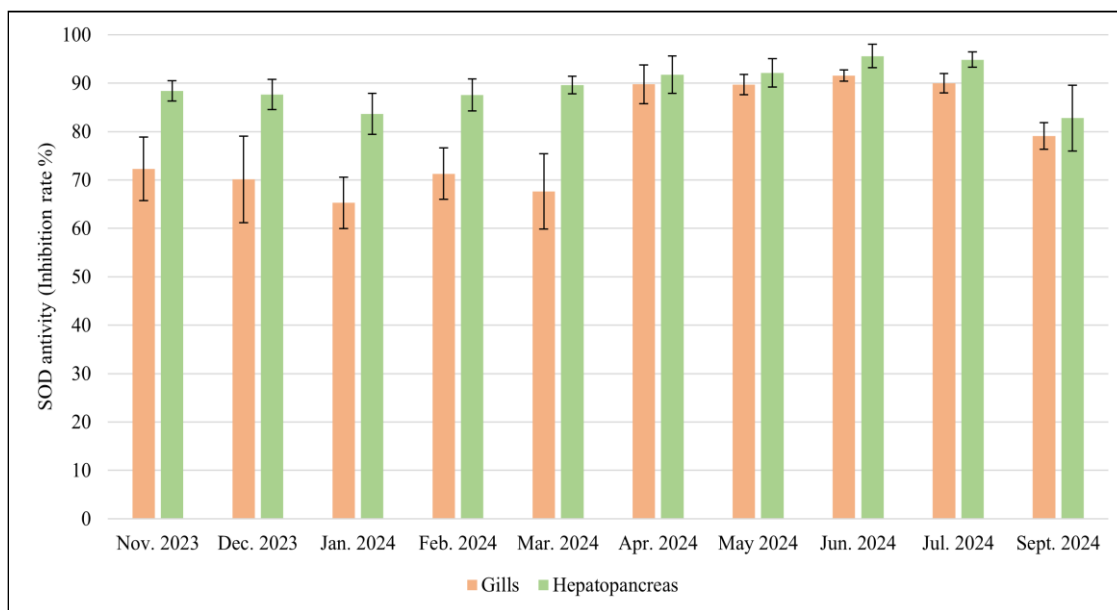
Datum vzorčenja	Cl (mg/cm ³)	Povprečna dolžina lupine (min-max) (mm)	Povprečna širina lupine (mm)	Povprečna višina lupine (mm)	Mokra masa viscere (g)	Suha masa (g)	Odstotek vode v visceri
18. 10. 2023	14,3 \pm 2,1	66 \pm 2 (62-69)	23 \pm 2 (21-28)	32 \pm 2 (29-35)	5,622 \pm 0,891	0,711 \pm 0,11	87 \pm 1
20. 11. 2024	19,4 \pm 8,5	55 \pm 2 (50-60)	20 \pm 1 (18-23)	27 \pm 1 (25-30)	3,173 \pm 0,54	0,594 \pm 0,25	82 \pm 7
18. 12. 2023	13,8 \pm 1,3	60 \pm 3 (53-65)	22 \pm 1 (19-25)	31 \pm 2 (27-34)	2,917 \pm 0,44	0,555 \pm 0,07	81 \pm 1
23. 01. 2024	15,2 \pm 3,4	66 \pm 3 (57-72)	24 \pm 1 (21-28)	33 \pm 2 (28-37)	4,493 \pm 0,97	0,788 \pm 0,22	82 \pm 5
12. 02. 2024	18,3 \pm 1,5	60 \pm 3 (52-65)	21 \pm 1 (19-24)	31 \pm 2 (28-35)	3,867 \pm 0,82	0,725 \pm 0,12	81 \pm 2
18.3.2024	17,2 \pm 2,1	61 \pm 3 (56-68)	22 \pm 1 (20-25)	31 \pm 2 (28-33)	3,446 \pm 0,51	0,737 \pm 0,11	78 \pm 1
15.4.2024	16,4 \pm 3,3	73 \pm 4 (67-80)	26 \pm 2 (22-28)	36 \pm 2 (32-39)	5,3433 \pm 0,86	1,0972 \pm 0,22	79 \pm 2
15.5.2024	16,2 \pm 3,3	68 \pm 3 (64-73)	24 \pm 1 (22-26)	34 \pm 2 (30-37)	4,4705 \pm 0,77	0,8954 \pm 0,22	91 \pm 2
17.6.2024	16,8 \pm 3,9	72 \pm 3 (67-77)	25 \pm 1 (22-28)	35 \pm 2 (31-38)	5,2148 \pm 0,80	1,0710 \pm 0,26	79 \pm 2
10.7.2024	17,3 \pm 4,4	68 \pm 3 (63-74)	24 \pm 2 (21-28)	35 \pm 2 (32-38)	4,4898 \pm 0,970	0,99 \pm 0,30	78 \pm 3
Avgust	/	/	/	/	/	/	/

10. 9. 2024	12,9±4,0	69±5 (59-82)	25±2 (21-30)	35±2 (31-38)	3,822± 1,018	0,77±0,26	81±2
-------------	----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------	------

4. 4. 2 Fiziološko stanje klapavic in odziv na toplotni stres

Aktivnost SOD smo merili spektrofotometrično v proteinskih ekstraktih škrge in prebavne žleze s komercialnim kitom (*Sigma-Aldrich, Cat. No. 19160*), ki ponuja standardizirane reagente in zagotavlja ponovljivost. Mehanizem reakcije temelji na tekmovanju SOD z vodotopno tetrazolijevo soljo pri redukciji superoksidnega aniona $-O_2$, pri čemer po redukciji superoksidnega aniona nastane vodotopno formazansko barvilo. Hitrost redukcije s O_2 je linearno povezana z aktivnostjo ksantin oksidaze (XO) in jo SOD zavira. Aktivnost SOD izrazimo z IC_{50} (50-odstotna inhibicijska aktivnost SOD ali SOD podobnih snovi) in se lahko izmeri s kolorimetrično metodo. V reakciji izmerimo absorpcijo formazana pri 440 nm in je sorazmerna z redukcijo superoksidnega aniona z SOD, ki jo nato izrazimo kot inhibicijsko aktivnost SOD za redukcijo tetrazolijeve soli (WST-1). Optimizirali smo protokol za meritve aktivnosti SOD v tkivih školjk (škrge in prebavna žleza) glede na optimalno koncentracijo proteinov v ekstraktu $50 \mu\text{g mL}^{-1}$. Meritve smo opravili na mikroploščicah z $20 \mu\text{l}$ proteinskega ekstrakta, ki je vseboval $50 \mu\text{g mL}^{-1}$ proteinov, v reakcijo smo dodali še $200 \mu\text{L}$ delovne raztopine WST. Za vrednotenje reakcije smo pripravili po navodilih proizvajalca poleg reakcije še slepe vzorce: $20 \mu\text{L}$ of deionizirane vode, $200 \mu\text{L}$ WST delovne raztopine in $20 \mu\text{L}$ encimskega ekstrakta (iz kompleta reagentov); $20 \mu\text{L}$ vzorca - proteinski ekstrakt iz škrge ali hemolimfe, $200 \mu\text{L}$ WST delovne raztopine in $20 \mu\text{L}$ pufra; in še tretji slepi vzorec $20 \mu\text{L}$ deionizirane vode, $200 \mu\text{L}$ WST raztopine in $20 \mu\text{L}$ pufra.

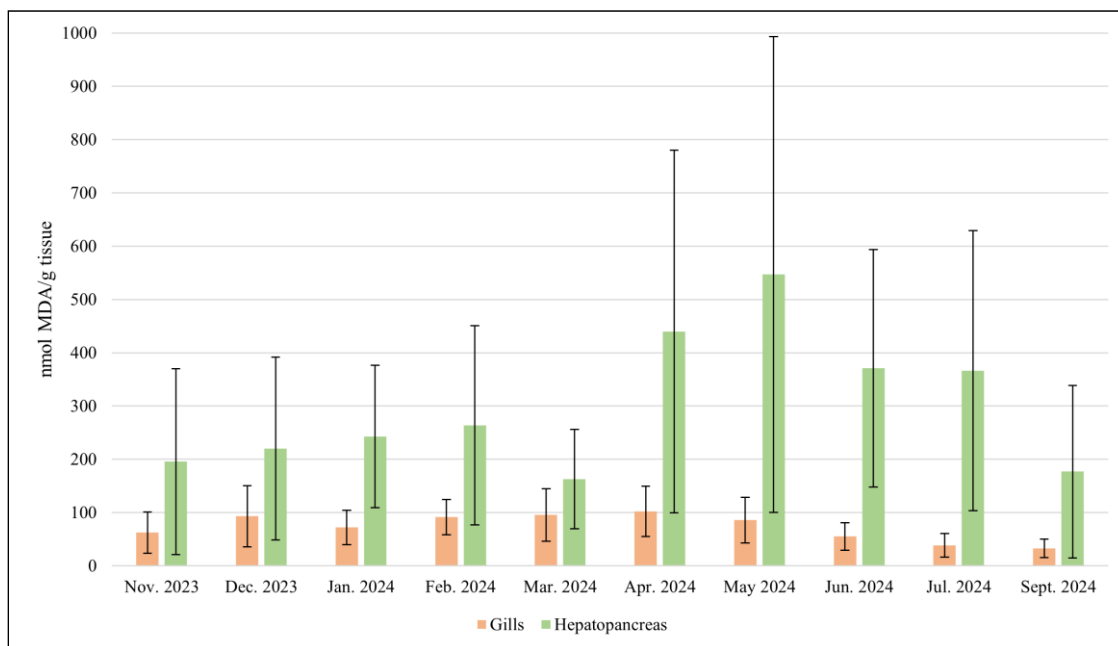
Pričakovali smo, da je aktivnost SOD višja v prebavni žlezi, ki je metabolno bolj aktivno tkivo kakor so škrge. Od meseca aprila 2024 do septembra 2024 je razlika v aktivnosti med obema tkivoma izjemno majhna, in je lahko posledica toplotnega stresa, ki so mu bile izpostavljene klapavice. SOD aktivnost v škrгах je bila povišana od aprila 2024 do septembra 2024, izmerili smo, da je aktivnost SOD povzročila 90% inhibicijo redukcije WST-1 (Slika 23). V škrгах je bila sposobnost SOD za inhibicijo 70%.



Slika 23: Prikaz aktivnosti SOD, izražena kot odstotek inhibicije redukcije WST-1 v reakciji v proteinskem ekstraktu iz škrg in v ekstraktu prebavne žleze (vir: magistrsko delo Modrušan V., UP FAMNIT (2025)).

Obseg peroksidacije lipidov v škrgah in prebavni žlezi sredozemskih klapavic smo testirali z dvema metodama, da bi dobili najprimernejši in najučinkovitejši protokol. Prva metoda je bila prilagojena v skladu s Camejo in sod., (1998), Bouskill in sod., (2006) in Smith in sod., (2007). Druga metoda temelji na protokolu Botsoglou in sod., (1994) in Ringwood in sod., (2003), in jo je prilagodila Mijošek s sodelavci (2019) za meritve v mikrotiterskih ploščicah. Metodo smo optimizirali na majhne in najbolj optimalne volumne proteinskih homogenatov škrg in prebavne žleze. To je bilo potrebno, ker so imele vzorčene klapavice majhne prebavne žleze iz katerih smo dobili volumsko majhen proteinski homogenat. Po metodi Mijošek in sod., (2019) smo testirali tri različne standardne volumne proteinskega homogenata: 50, 100 in 125 μl in na podlagi rezultatov in najboljše dobljene umeritvene krivulje je bil za nadaljnje teste izbran volumen 100 μl standardov in vzorca s koncentracijo 50 $\mu\text{g mL}^{-1}$ proteinov. Vzorci so bili najprej odmrznjeni na ledu, temeljito premešani in 100 μL vzorca je bilo uporabljenega za test. Nato smo vzorcem dodali 200 μL mešanice TCA + BHT (v razmerju 100:1), dobro premešali in pustili na ledu 15 minut. Nato smo vzorce centrifugirali pri 4 °C in 4 000 g za 15 minut (škрге) in 25 minut (prebavna žleza), ki ima večjo vsebnost lipidov (vidni kot trdna plast po centrifugiranju). Po centrifugiranju smo supernatante prenesli v nove mikrocentrifugirke in v vsako dodali 200 μl reagenta TBA, jih dobro premešali in jih segrevali 30 minut na 100° C, pri čemer je nastal rožnato fluorescenten proizvod. Po inkubaciji smo 100 μl vsakega vzorca prenesli v vdolbinice mikroplošče (v treh ponovitvah) in izmerili absorbanco 535 nm. Nastali produkt je malondialdehid (MDA) in ga izrazimo kot nmol MDA v gramu mokre mase tkiva.

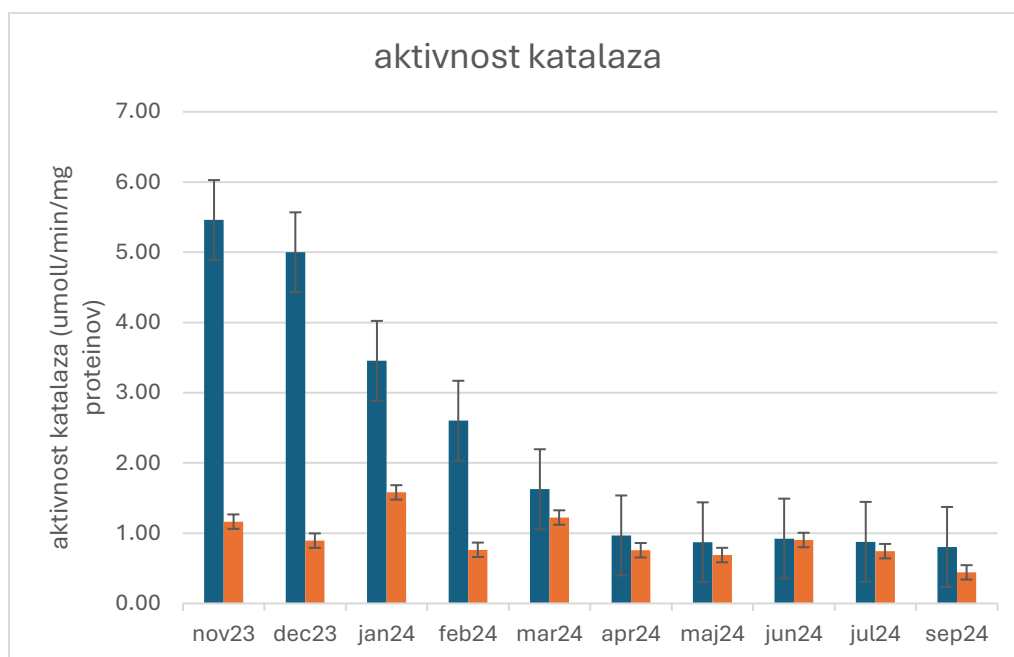
Vrednost MDA je v prebavni žlezi višja kakor v škrgah, prav tako je variabilnost izjemno velika. Vrednost peroksidacije lipidov se poveča z višjimi temperaturami morja, kar kaže na oksidativni stres, ki so mu bile izpostavljene klapavice (Slika 24).



Slika 24: Nastali MDA (nmol MDA g^{-1} mokre mase tkiva) izmerjen v proteinskem ekstraktu škrg in prebavne žleze klapavice v vzorcih od novembra 2023 do septembra 2024 (vir: magistrsko delo Modrušan V., UP FAMNIT (2025)).

Aktivnost katalaze smo izmerili v škrgah in v prebavni žlezi, katalaza ima visoko aktivnost in reakcija poteče zelo hitro. Substrat za razgradnjo je H_2O_2 , ki nastaja v celici v različnih procesih in njegova koncentracija v celici lahko naraste kadar pride do oksidativnega neravnotežja; povečana aktivnost katalaze omogoči razgradnjo H_2O_2 in prepreči poškodbe v celici. Aktivnost smo merili 2 minuti v velikem volumnu proteinskega ekstrakta (2 mL) v kvarčnih kivetah, pri čemer smo merili padec absorpcije, ko se je razgrajeval dodani substrat H_2O_2 . Škrge ali prebavno žlezo smo homogenizirali v kalij fosfatnem pufri 100 mM KH_2PO_4 in 100 mM K_2HPO_4 , pH= 7, 4. Tkivo smo zatehtali, razrezali s škarjami na manjše koščke in dodali ustrezen volumen 100 mM kalij-fosfatnega pufra $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$ pH=7,4, v razmerju 1:2 (teža tkiva : volumen pufra) in ga homogenizirali v Potterjevem homogenizatorju z vsaj 10 pasažami. Homogenat smo centrifugirali na 10 000 rpm pri 4° C v hlajeni centrifugi 40 minut. V reakciji je bila koncentracija substrata 10,2 mM H_2O_2 in 10 μL proteinskega ekstrakta prebavne žleze oziroma 40 μL proteinskega ekstrakta škrg, razgradnjo substrata smo merili pri 25 °C pri valovni dolžini 240 nm. Aktivnost katalaze smo izrazili kot μmol razgrajenega substrata na $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov ($\epsilon_{240}=4360 \text{ mol L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

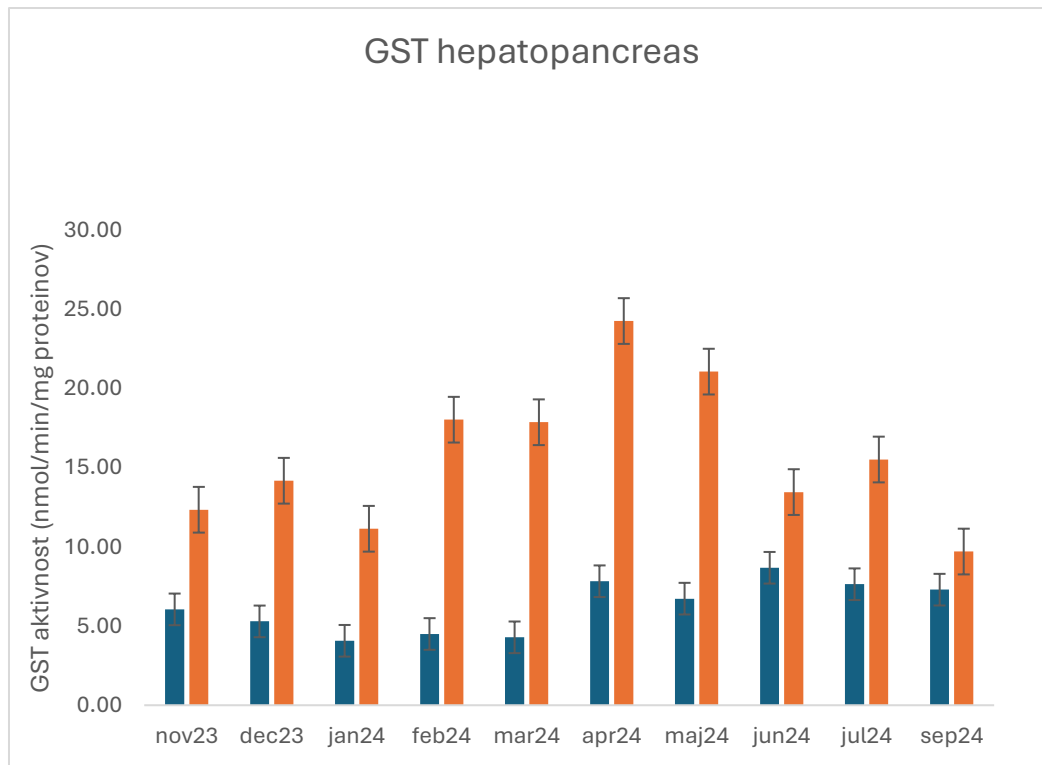
Aktivnost katalaze je višja v prebavni žlezi, ki je metabolno bolj aktivna kakor v škrgah. V hladnejših mesecih, november 2023 in december 2023 je bila aktivnost 5,5 do 5 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov in je nato padala od januarja 2024 do aprila 2024, ko doseže najnižjo aktivnost v prebavni žlezi in je primerljiva z aktivnostjo v škrgah (Slika 25).



Slika 25: Aktivnost katalaze (umol razgrajenega substrata $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov) v prebavni žlezi (modro) in v škrgah (rdeče), vidna je nižja aktivnost v škrgah v primerjavi s prebavno žlezo, ki je izrazita v obdobju od novembra do februarja 2024 (neobjavljeni rezultati).

Aktivnost GST smo merili v škrgah in v prebavni žlezi, kot substrat za GST smo v reakcijo dodali glutation. Encim GST ima pomembno vlogo pri zaščiti pred oksidativnim stresom in pri razgradnji strupenih spojin. Aktivnost encima GST smo merili v mikrotitrskih ploščicah, najprej smo dodali 10 μL proteinskega ekstrakta in takoj nato smo dodali glutation in Cl-2,4-DNB, ki reagira z reduciranim glutationom, da se razvije rumena barva, nastali produkt smo merili pri 340 nm. Aktivnost GST smo podali v $\text{nmol produkta min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov, pri čemer smo upoštevali ekstinkcijski koeficient reduciranega glutationa ($\epsilon_{340} = 9600 \text{ mol L}^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

Aktivnost GST je višja v škrgah kar se odraža skozi celotno obdobje in doseže višek v aprilu 2024 (24 nmol/min/mg proteinov) in maju 2024 (21 nmol/min/mg proteinov). Aktivnost GST v prebavni žlezi pa je bila od 4,1 nmol/min/mg proteinov (januar 2024) do 8,7 nmol/min/mg proteinov v juniju 2024. Izmerjene aktivnosti so v okviru pričakovanih vrednosti za klapavice (Slika 26).

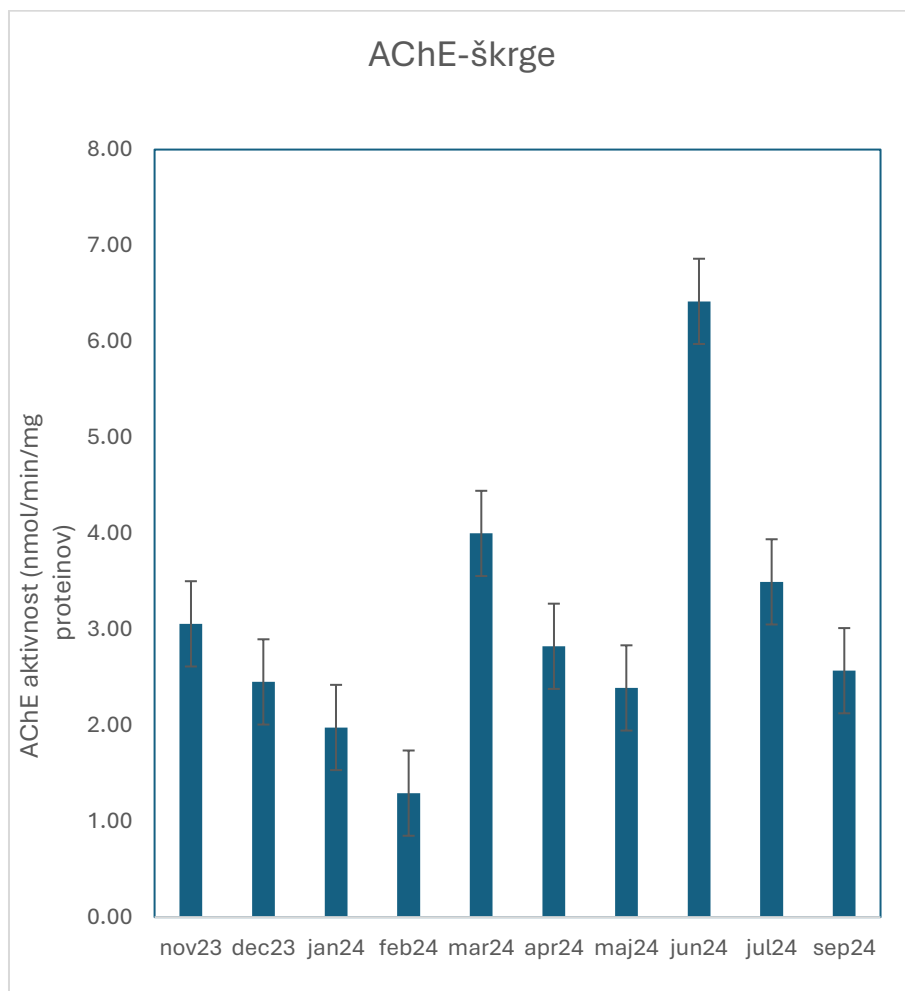


Slika 26: Aktivnost GST ($\text{nmol produkta min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{proteinov}$) v škrgah (rdeče) in v prebavni žlezi (modro) v klapavicah v celotnem obdobju vzorčevanja (neobjavljeni podatki).

Meritve aktivnosti acetilholin esteraze (AChE) smo opravili v škrgah. Vsak mesec smo vzorčili po 15 osebkov iz katerih smo odvzeli tkiva in pripravili proteinske ekstrakte v ustreznem puftru, v vsakem vzorcu smo za izračun specifične encimske aktivnosti izmerili še vsebnost proteinov s komercialnim kompletom reagentov BCA Protein Assay Kit (*Thermo Scientific, Cat. No. 23225*), ki omogoča meritve v majhnih volumnih na mikrotitrskih ploščicah. Škrge smo homogenizirali v 0,1M Tris-Cl in 0,1% Triton X 100, pH=7,0, da smo iz membran ekstrahirali encim. Škrge smo zatehtali, razrezali s škarjami na manjše koščke in dodali 0,1M Tris-Cl in 0,1% Triton-X 100, pH=7,0, v razmerju 1:2 (teža tkiva:volumen puftra). Homogenat smo odpipetirali v ustrezno velike mikrocentrifugirke (2 mL) in centrifugirali na 10 000x g pri 4° C v hlajeni centrifugi 40 minut. Proteinski ekstrakt smo uporabili za merjenje encimske aktivnosti AChE ter za določanje koncentracije proteinov. Aktivnost AChE smo merili po metodi, ki jo je opisal Ellman in sod. (1961) in je prilagojena za mikrotitrsko ploščo (Mancini in sod., 2004). Reakcijska mešanica je bila sestavljena iz 10 μl proteinskega supernatanta in 190 μl 50 mM fosfatnega puftra (pH 7,0) z 2 mM acetilholinom (substrat) in 0,5 mM 5,5' dithiobis-2-nitrobenzoic acid (DTNB). Slep vzorec je bil 10 μl 50 mM fosfatni pufer (pH 7,0) namesto proteinskega ekstrakta, da smo ovrednotili spontani razpad acetilholina. Aktivnost AChE se izrazi v nmolih hidroliziranega acetilholina $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ beljakovin, pri čemer smo upoštevali ekstinkcijski koeficient za acetilholin $\epsilon_{405} = 13,600 \text{ mol L}^{-1} \text{cm}^{-1}$.

Aktivnost AChE je pomemben biomarker, kajti inhibicija encima pomeni da je prenos živčnih impulzov inhibiran zaradi česar je slabša aktivnost mišic na škrgah, ki usmerjajo hrano proti želodcu. Ugotovili smo, da je bila aktivnost AChE najvišja v mesecu juniju 2024 (7,3 nmol

acetilholina $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov) in v marcu 2024 ($9,8 \text{ nmol acetilholina min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov), in nižja v drugih mesecih (februar 2024 $2,3 \text{ nmol acetilholina min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov). Rezultati so prikazani na sliki 27.

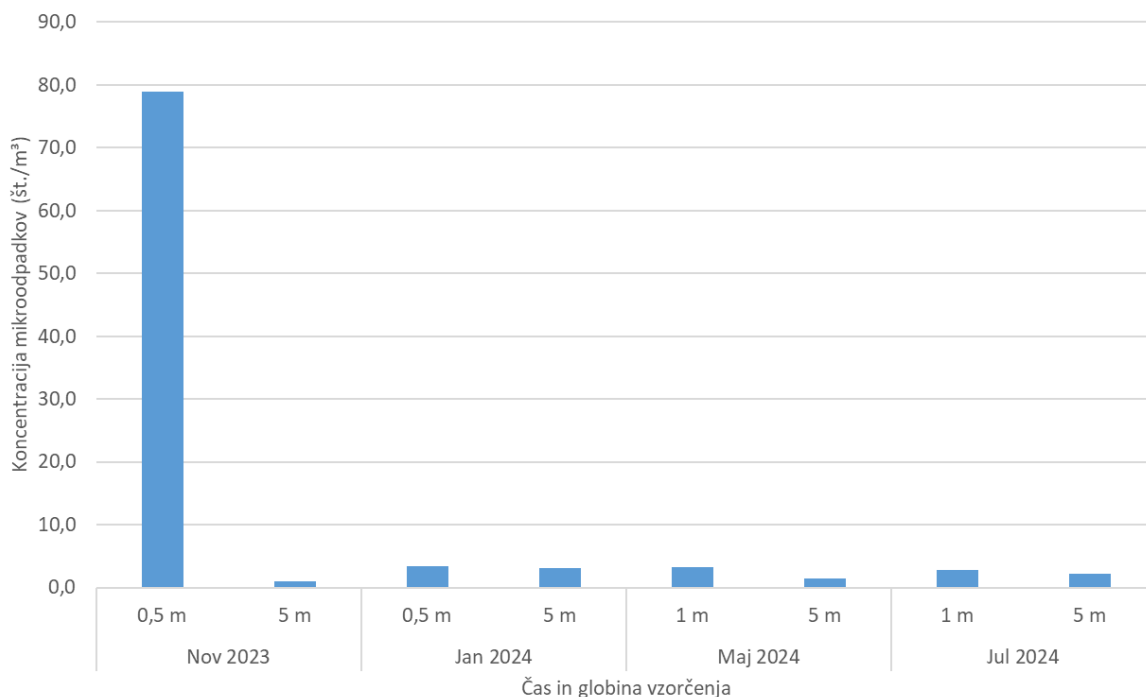


Slika 27: Aktivnost AChE ($\text{nmol acetilholina min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ proteinov) v škrgah v obdobju od novembra 2023 do septembra 2023 (neobjavljeni podatki).

4. 5 Identifikacija mikroplastike v školjčičih

4.5.1 Identifikacija mikroplastike v vodnem stolpcu školjčiča

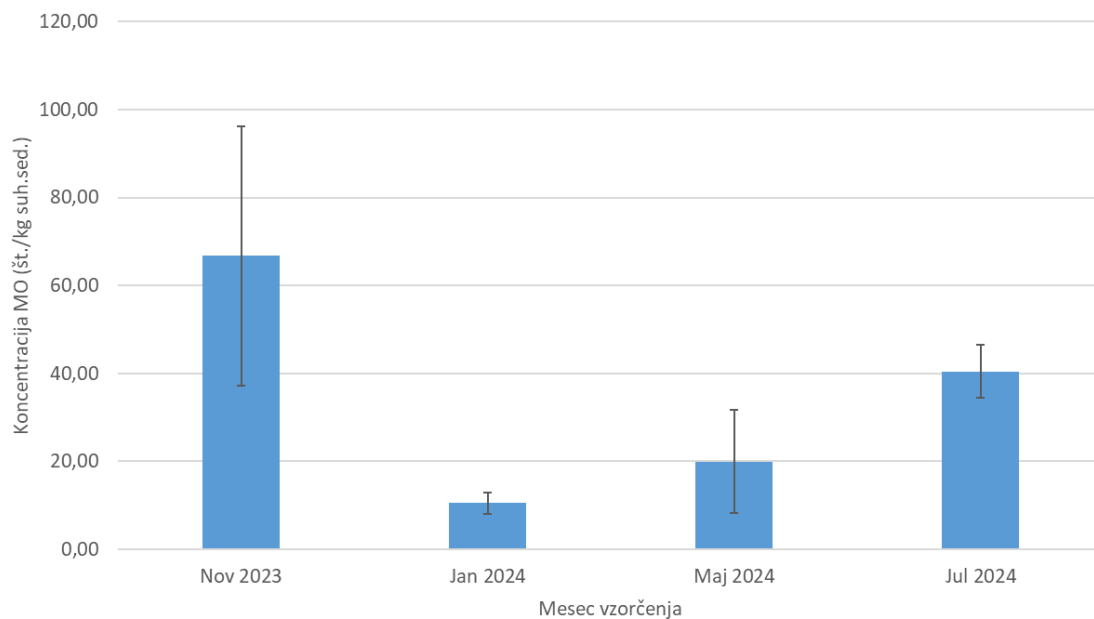
V vzorcih morske vode smo skupno pri štirih vzorčenjih potrdili 203 delce mikroodpadkov, od katerih jih je bilo 187 mikroplastičnih. Po obliki so prevladovala tekstilna vlakna (178), manj je bilo fragmentov (25). Največ mikroodpadkov smo izolirali iz jesenskih vzorcev (november 2023) in sicer 159, medtem ko je bilo pri preostalih treh vzorčenjih mikroodpadkov bistveno manj in sicer v povprečju <10 delcev/ m^3 vode (januar 2024 – 24 delcev; maj 2024 – 10 delcev; julij 2024 – 10 delcev) (Slika 28).



Slika 28: Koncentracije mikroodpadkov v morski vodi na dveh globinah vzorčenja na školjčičišču v Piranskem zalivu.

Potrjeni delci mikroplastike (N = 183) iz vseh vzorcev morske vode so bili v velikem deležu iz poliestra (PET; 87 %), večinoma v obliki vlaken. Ta oblika je prevladovala zlasti pri jesenskem vzorčenju (november 2023). Sledila so jim tekstilna vlakna iz celuloze (bombaž) v deležu 7,3% in semisintetičnih materialov (OSSP; 3,9%). V manjšem deležu so bili prisotni še delci iz polietil metakrilata (PMA; 2,5 %), polipropilena (PP; 2 %), poliamida (PA; 2 %), gume (OR; 1,5 %), drugih vrst plastike (OP; 1,5 %), polistirena (PS; 0,5%) in polietilena (PE; 0,5 %) (Slika 32).

Iz vzorcev sedimentov je bilo skupno izoliranih 80 delcev mikroodpadkov, od katerih jih je bilo 45 mikroplastičnih. Močno se prevladovala tekstilna vlakna (75), fragmentov je bilo izoliranih le pet. Najvišja koncentracija mikroodpadkov je bila izmerjena v novembru 2023 in sicer 67 delcev/kg sedimenta, najnižja pa v januarju 2024 in sicer 10,5 delca/kg sedimenta. Maja 2024 je povprečna koncentracija znašala 20 delcev/kg sedimenta, v junijskih vzorcih pa 40,5 delca/kg sedimenta (Slika 29).

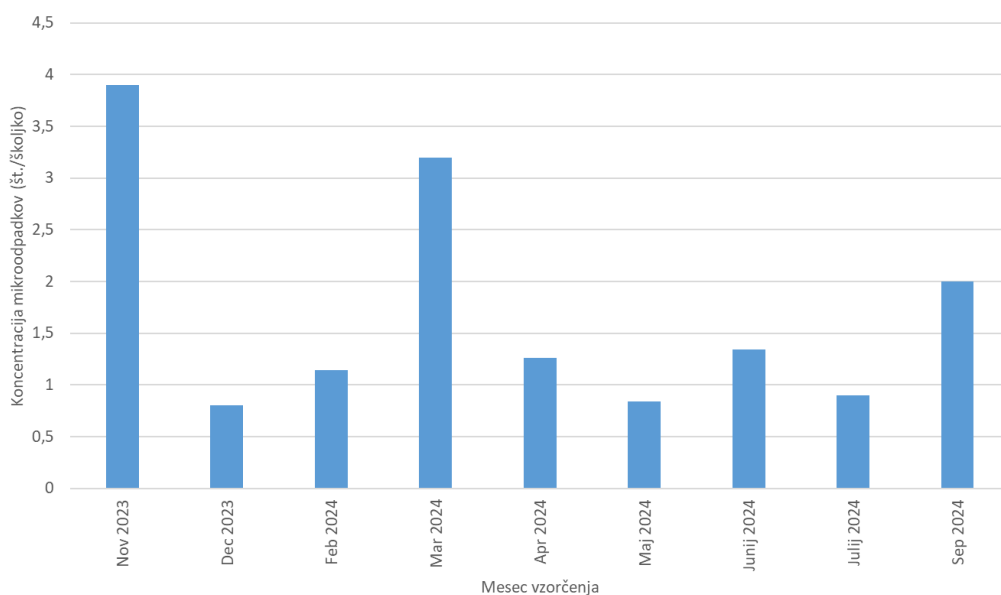


Slika 29: Koncentracije mikroodpadkov v sedimentih morskega dna na školjčičišču v Piranskem zalivu.

Po kemijski sestavi so v sedimentih prevladovala tekstilna vlakna iz celuloze (bombaž; 46,3%), katerim so sledila sintetična tekstilna vlakna iz poliestra (PET; 22,5%), polipropilena (PP; 11,3%), akrilonitrila (PAN; 6,3%) in poliamida (PA; 1,3%) ter semisintetičnih materialov (OSSP; 5%). V vzorcih so bili prisotni tudi posamezni fragmenti iz polietilena (PE; 5%) in polietil metakrilata (PMA; 2,5%) (Slika 32).

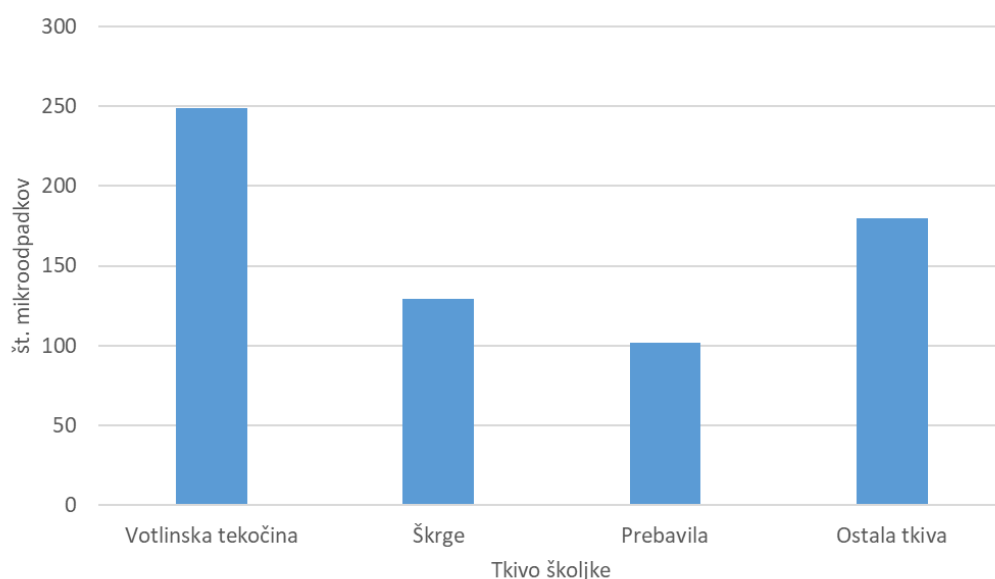
4. 5.2 Identifikacija mikroplastike v klapavicah

Iz 400 školjk je bilo skupno izoliranih 660 delcev mikroodpadkov, od katerih jih je bilo 319 mikroplastičnih. Po obliki so prevladovala tekstilna vlakna (609), fragmentov je bilo 51. Največ mikroodpadkov je bilo izoliranih iz školjk vzorčenih novembra 2023 (3,9 delca/školjko) in marca (3,2 delca/školjko). Sledile so septembrske klapavice z 2 delcema/školjko, junijske in aprilske z 1,3 delca/školjko ter februarske z 1,1 delcem/školjko. Pri preostalih treh vzorčenjih (december 2023, maj 2024 in julij 2024) je bilo mikroodpadkov manj kot 1 na školjko (Slika 30).



Slika 30: Koncentracije mikroodpadkov v školjkah po mesecih vzorčenja.

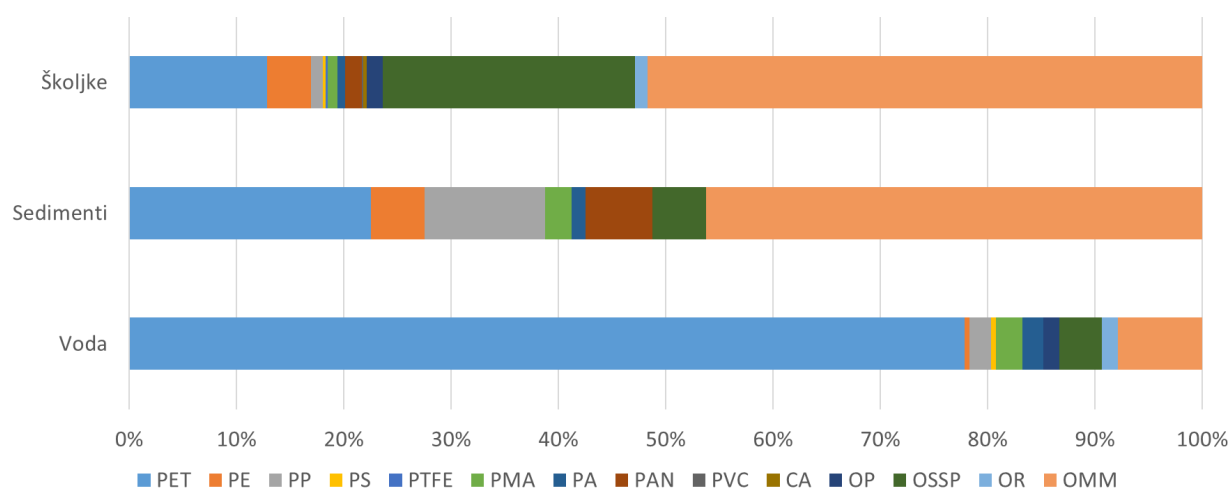
Izmed 660 delcev mikroodpadkov izoliranih iz 400 školjk, se je znotraj školjk največ delcev nahajalo v votlinski tekočini (249), manj v škregah (129) in prebavilih (102). Iz preostalih mehkih tkiv školjk je bilo izoliranih 180 mikroodpadkov (Slika).



Slika 31: Število mikroodpadkov izoliranih iz posameznih tkiv školjk.

Tako kot v vodnih vzorcih in vzorcih sedimentov, so tudi v školjkah po kemijski sestavi prevladovala tekstilna vlakna iz celuloze oz. bombaža (OMM; 51,7%), katerim so sledila sintetična tekstilna vlakna iz poliestra (PET; 12,9%), poliamida (PA; 0,8%) in poliakrilonitrila (PAN; 1,5%) ter semisintetična vlakna iz celuloznega acetata (CA; 0,3%) in drugih semisintetičnih materialov (OSSP; 23,5%). Prisotno je bilo tudi kar veliko mikroodpadkov v

obliki fragmentov, ki so bili pretežno iz polietilena (PE; 4,1%), polipropilena (PP; 1,1%), polistirena (PS; 0,3%), politetrafluoroetilena (PTFE; 0,2%), polietilen metakrilata (PMA; 0,9%), polivinil klorida (PVC; 0,2%), gume (OR; 1,2%) in drugih plastik (OP; 1,5%) (Slika 32).



Slika 32: Kemijska sestava mikroodpadkov v vzorcih vode, sedimentov in školjk.

4.6 Študija vpliva letnih časov ter oceanografskih, meteoroloških in hidroloških dejavnikov na razporejanje mikroplastike v školjčičih

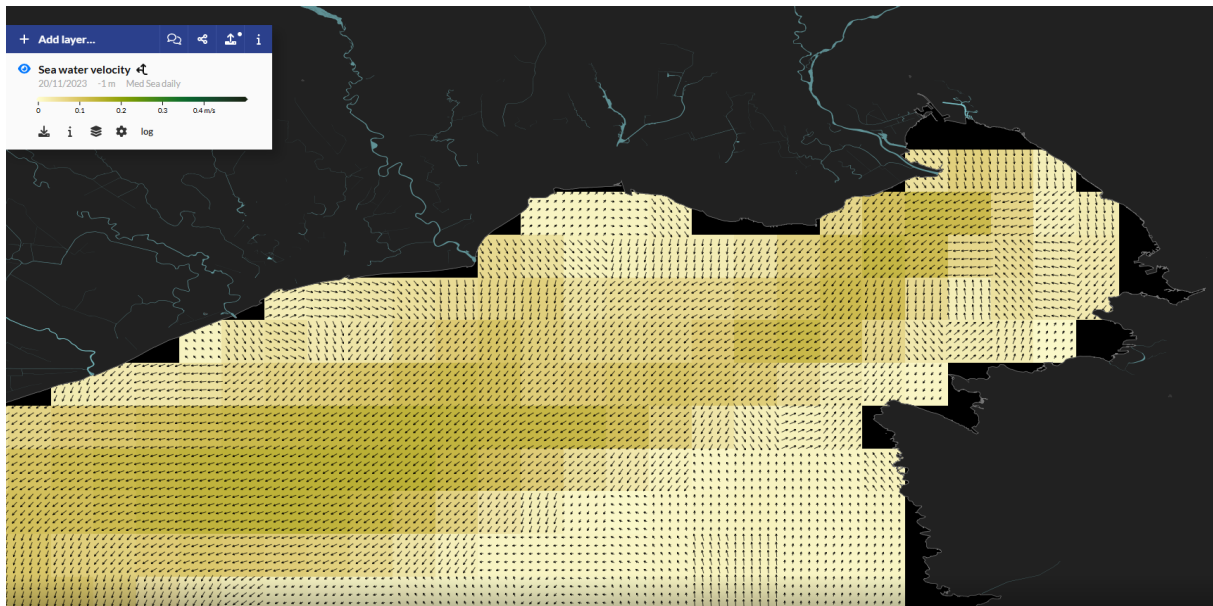
Med rezultati analiz z ML so najpomembnejše informacije o tem, kateri zunanji dejavniki najbolj vplivajo na koncentracijo mikroodpadkov v morski vodi in v školjkah. Povzetek analize prikazujemo v Tabeli 13.

Tabela 13: Glavni rezultati analize podatkov z orodji strojnega učenja: vpliv okoljskih dejavnikov na število delcev mikroodpadkov v površinskem sloju morja in v školjkah.

	<i>CILJNA SPREMENLJIVKA</i>	<i>ŠTEVILO ATRIBUTOV</i>	<i>ŠTEVILO UČNIH PRIMEROV</i>	<i>ATRIBUTI Z NAJVEČJIM VPLIVOM NA CILJNO SPREMENLJIVKO</i>
1. SKLOP	<i>Število delcev mikroodpadkov na površini morja</i>	30	100	<i>Višina valov, smer valovanja, lokacija merjenja, letni čas, hitrost vetra, temperatura morja, vlažnost zraka</i>
	<i>Povprečna velikost delcev mikroodpadkov na površini morja</i>	30	100	<i>Perioda valov, lokacija, letni čas, smer vetra, tokovi na različnih globinah, temperatura zraka, vlažnost zraka, sončno sevanje</i>
2. SKLOP	<i>Število delcev mikroodpadkov v školjkah</i>	74	11	<i>Smer vetra, smer valovanja, pretok reke Soče, letni čas, tokovi v površinskem sloju morja</i>
	<i>Povprečna velikost delcev mikroodpadkov v</i>	74	11	<i>Letni čas, smer vetra, tokovi na različnih globinah</i>

	<i>školjkah</i>			
3. SKLOP	<i>Število delcev mikroodpadkov v školjkah</i>	31	147	<i>Smer vetra, tokovi na različnih globinah, velikost školjke, letni čas, smer valovanja</i>
	<i>Povprečna velikost delcev mikroodpadkov v školjkah</i>	31	147	<i>Velikost školjke, smer valovanja, smer vetra, tokovi na različnih globinah</i>

Vidimo lahko, da so v vseh treh sklopih kot najpomembnejši atributi izbrani oceanografski dejavniki in letni čas. Med izbranimi atributi nekateri na ciljno spremenljivko vplivajo neposredno, drugi pa posredno (npr. velikost školjke je neposredno povezana s starostjo školjke, sončno sevanje je neposredno povezano z letnim časom, vlažnost zraka vpliva na tlak oz. pogoje na površini morja, idr.). V analizi smo upoštevali tudi štiri slovenske reke, ki se izlivajo v Tržaški zaliv; med temi je bil kot pomemben prepoznani vpliv reke Soče (ostale reke imajo manjši pretok, s tem pa tudi manjšo količino mikroodpadkov, ki prispeje v slovensko morje). Med oceanografskimi dejavniki so kot najpomembnejši izbrani: smer vetra, smer valovanja, tokovi na različnih globinah ter višina valov. Ti rezultati neposredno dokazujejo velik vpliv oceanografskih dejavnikov na količino mikroodpadkov tako v morski vodi kot v školjkah. Na Slika 33 prikazujemo tokove v površinskem sloju morja numeričnega modeliranja na dan 20. 11. 2023 (Mediterranean Sea Physics Analysis and Forecast), na katerega smo pridobili prve podatke za analizo. Smer tokov z izrazitejšo hitrostjo (0.12 m/s), ki se na severni strani začne pri ustju reke Soče, je usmerjena iz severovzhodne strani proti jugozahodni, kjer se nekoliko okrepi (0.13 m/s). Celice v bližini Piranskega zaliva kažejo v smeri savudrijske obale in nekoliko tudi proti Piranu.



Slika 33: Na osnovi slike tokov lahko pričakujemo večji vpliv zaradi izlivov rek, ki v povezavi z meteorološkimi dejavniki bolj izrazito potiska površinski sloj od severovzhodne smeri proti jugozahodni v smeri italijanske obale. Morebitni izvorni lebdeči delci iz sladkovodnih izlivov, ki lahko vključujejo tudi mikroadpadke, lahko dosežejo mesto vzorčenja.

5. Razprava, zaključki in priporočila naročniku

V tem poglavju smo pripravili sintezo rezultatov, ki omogoča vpogled v sedanje stanje in pripravo priporočil za prihodnost.

Analiza podatkovnih nizov okoljskih parametrov in fitoplanktonske združbe

Fitoplankton je za gojitev školjk ključen (vsaj) z dveh vidikov – kot osnovni vir hrane in kot potencialni vir toksinov, ki se kopičijo v školjkah ter povzročajo zapore prodaje in gospodarske izgube. Zato je razumevanje njegove dinamike v povezavi z okoljskimi parametri nujno za oceno vpliva podnebnih sprememb na gojitev školjk v slovenskem morju.

Naraščajoče temperature slovenskega morja, ki jih v zadnjih desetletjih potrjujejo različne raziskave (Malačič in sod., 2006; Boicourt in sod., 2020), potrjuje tudi naša analiza trendov. Dobljeni rezultati se skladajo z meritvami iz drugih svetovnih morij in z modelnimi simulacijami, ki kažejo na pospešeno segrevanje oceanov, pri čemer so v zadnjih letih izmerjene rekordne vrednosti (Cheng in sod., 2019, 2022). V Sredozemskem morju, kjer je segrevanje še posebej izrazito, znaša dolgoročni trend približno 0,035 °C na leto (Pastor in sod., 2018; von Schuckmann in sod., 2021). Podobno se segreva tudi Jadransko morje – ob vzhodni obali se površinska temperatura od leta 1979 povečuje za 0,023–0,031 °C/leto (Grbec in sod., 2018), v severnem delu pa je trend še izrazitejši, do 0,06 °C/leto (Vilibić in sod., 2019). Takšne vrednosti se dobro ujemajo z našimi podatki, ki kažejo na značilno ogrevanje celotnega vodnega stolpca, posebej izrazito pozimi in poleti.

Stabilen trend naraščanja je značilen tudi za slanost v pridnenem sloju slovenskega morja, kar je v skladu z drugimi raziskavami – v zadnjem desetletju so na več postajah v slovenskem morju zaznali še močnejši porast, od 0,04 do 0,08 na leto (Boicourt in sod., 2020). Nasprotno kaže slanost v površinskem sloju izrazita nihanja, ki so povezana predvsem z dinamiko rečnih pretokov, zlasti reke Soče (Mozetič in sod., 2012). Pretoki reke Soče, najpomembnejšega sladkovodnega vira v Tržaškem zalivu, kažejo značilne hidrološke režime ki sovpadajo s povprečno slanostjo (Orlando-Bonaca in sod., 2019). Po obdobju treh prepoznanih režimov so se pretoki po letu 2015 znova zniževali (Savonitto in sod., 2025), kar se neposredno odraža v povečani slanosti površinskih voda. Ti režimi jasno kažejo, da je sistem močno odvisen od padavinskih vzorcev in s tem od podnebne spremenljivosti.

Rečni pritoki so glavni alohtoni vir hranilnih snovi za Tržaški zaliv (Cozzi in sod., 2012). Najnovejši podatki o hranilih kažejo, da se v slovenskem morju ohranja fosforjeva limitativnost. V obdobju 2016–2022 so koncentracije nitrata in DIN (ang. dissolved inorganic nitrogen) izrazito nihale glede na hidrološke razmere: najnižje vrednosti so bile izmerjene v sušnih letih 2018 in 2022. Koncentracije ortofosfata so bile, podobno kot v prejšnjih letih, nizke (povprečno 0,02 $\mu\text{mol/l}$), razmerje N/P pa je visoko (povprečno 84), kar potrjuje fosforjevo limitativnost, značilno za severni Jadran (Cozzi in Giani, 2011).

Fitoplankton ima ključno vlogo v morskih ekosistemih, saj tvori približno polovico globalne primarne produkcije in predstavlja osnovo pelagičnih prehranskih spleto ter biološke ogljične črpalke (Falkowski in sod., 2004; Basu in sod., 2018). Njegova sestava in dinamika sta zato občutljiva kazalnika sprememb v okolju, kot je naraščanje temperature morja in padec trofičnosti. Severni Jadran, tradicionalno ena najbolj produktivnih regij Sredozemlja, je v 70. in 80. letih prejšnjega stoletja doživel izrazito evtrofikacijo, ki se je kazala v cvetenjih in sluzenju morja ter v epizodah hipoksij in anoksij (Degobbis in sod., 2000). Po letu 1990 so ukrepi v porečju reke Pad, kot so omejitve fosfatov v detergentih (De Wit in Bendoricchio, 2001), gradnja čistilnih naprav in zmanjšanje kmetijskih vnosov hranil, skupaj z obdobjem sušnih let (Cozzi in sod., 2012) privedli do prehoda v oligotrofnejše razmere. Posledica tega procesa, imenovanega kulturna oligotrofizacija, je postopno zmanjšanje trofičnosti Tržaškega zaliva in severnega Jadrana (Mozetič in sod., 2010, 2012), ki se kaže v upadu Chl-a in primarne produkcije (Brush in sod., 2020; Zhang in sod., 2021).

Na satelitskih podatkih Chl-a za obdobje 1998–2007 je bil zaznan statistično značilen negativen trend, najizrazitejši pozimi (Mozetič in sod., 2010). Naša analiza dolgoročnih meritev (1989–2021) potrjuje ta upad – po letu 2006 ni več zaznati spremembe režima, temveč stabilno nizke koncentracije Chl-a, kar potrjuje trajno oligotrofizacijo. Povprečna koncentracija v zadnjem režimu (0,53 $\mu\text{g L}^{-1}$) je približno pol nižja kot v prvem (1 $\mu\text{g L}^{-1}$).

Čeprav je v zadnjih dveh desetletjih zaznano zmanjšanje biomase, so se v posameznih obdobjih abundance fitoplanktona povečale. To povečanje je predvsem posledica rasti manjših vrst diatomej (*Cyclotella*, *Chaetoceros*) ter dinoflagelatov in nanoflagelatov. Zadnji dve skupini imata tudi alternativne prehranjevalne strategije – miksotrofija in heterotrofija (Flynn in sod., 2019), kar skupaj z manjšo velikostjo celic pogosto predstavlja prednost v hranilno osiromašenih pogojih (Finkel in sod., 2010). Posledično prihaja do razkoraka med

abundanco fitoplanktona in koncentracijo Chl-a – več majhnih celic ne pomeni nujno več biomase. Tak premik v velikostni strukturi zmanjšuje učinkovitost prenosa energije v višje trofične nivoje in slabi delovanje biološke ogljične črpalke (El Hourany in sod., 2021).

Dinamika fitoplanktona in njegova biomasa neposredno vplivata na rast školjk. Čeprav so školjke filtratorski organizmi, nekatere raziskave kažejo na določeno prehranjevalno selektivnost. Nekatere vrste iz rodu *Mytilus*, na primer, dajejo prednost dinoflagelatom in nanoflagelatom pred diatomejami (Jiang in sod., 2022; Sidari in sod., 1998), pri čemer vrsta hrane vpliva tudi na hranilno vrednost tkiva školjk (Navarro in sod., 2003). Za optimalno rast je pomembno tudi časovno ujemanje med fazami razvoja školjk in viški fitoplanktona, na splošno pa lahko rečemo, da je sestava fitoplanktonske združbe v slovenskem morju, navkljub veliki variabilnosti, primerna za prehrano klapavic. Vendar se trenutno zdi, da so za rast bolj omejujoči drugi dejavniki, kot so povišane temperature morske vode, pogostejši pojavi toplotnega stresa ali prisotnost parazitov (Capelle in sod., 2021).

V slovenskem morju že od leta 1994 poteka sistematičen monitoring škodljivih vrst fitoplanktona na treh območjih gojišč užitne klapavice. Spremljanje se osredotoča na vrste, ki proizvajajo toksine in lahko povzročajo zastrupitve s školjkami. Dolgoletni podatki kažejo, da se redno pojavljajo vrste, povezane z amnezijsko (ASP; rod *Pseudo-nitzschia*), paralitično (PSP; rod *Alexandrium*) in diarično zastrupitvijo (DSP; rodova *Dinophysis* in *Phalacroma*) ter vrste, ki proizvajajo jesotoksine (*Lingulodinium polyedra*, *Protoceratium reticulatum*) (Lassus in sod., 2016; Henigman in sod., 2024).

Doslej so bili v školjkah iz slovenskega morja potrjeni le DSP toksini – okadaična kislina (OA) in dinofizis toksini (DTXs), ki pogosto presežejo zakonsko dovoljene vrednosti (Francé in sod., 2013; Henigman in sod., 2024). Uvedba analitske metode LC-MS/MS za določanje lipofilnih toksinov leta 2014 je pomenila pomemben premik v spremljanju – nadomestila je biološke teste in povečala natančnost ter zanesljivost rezultatov, kar je izboljšalo upravljanje zapor prodaje školjk. Povečano število zaznanih pozitivnih vzorcev po uvedbi metode ne pomeni nujno večje prisotnosti toksinov v okolju, temveč odraža večjo občutljivost meritev. Močna korelacija med abundanco *D. fortii* in koncentracijo OA v školjkah ($r = 0,611$, $p < 0,001$) nakazuje, da je prav ta vrsta glavni povzročitelj toksičnosti (Henigman in sod., 2024).

Ti podatki bodo v prihodnje omogočili še bolj ciljno spremljanje in prilagajanje gojitvenih praks razmeram v morju, tudi z možnostjo napovedovanja toksičnosti školjk z uporabo umetne inteligence. Modeli strojnega učenja so se že izkazali za obetavne v prvi tovrstni študiji s podatki iz slovenskega morja (Marzidovšek in sod., 2024).

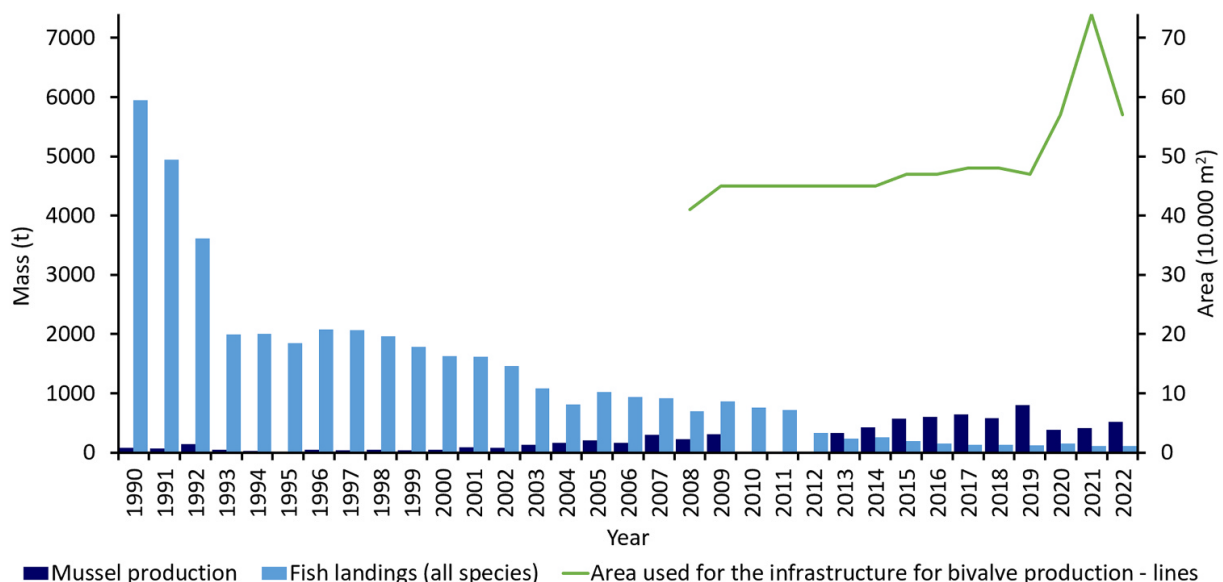
Pregled obstoječih praks školjkarstva

Školjkarstvo se je začelo v slovenskem morju v začetku 70-tih let v Piranskem zalivu zraven ribolovnega rezervata, kjer ni bilo konfliktov zaradi ribolova z vlečnimi in stoječimi mrežami. S prvim školjčičiščem je upravljalo podjetje Droga Portorož (TOZD Riba), kasneje so z gojenjem začeli posamezniki, ki so dobili koncesije in podjetje Mariva Portorož, v 80-tih letih pa je prišlo do konsolidacije in ostala so tri družinska podjetja, ki so razširila školjčičišča še v Strunjanski zaliv in v zaliv Sv. Jerneja ob Debelem rtiču. Pridelava klapavic je naraščala do 80-tih let, najprej so

začeli gojiti klapavice na plavajočih linijah (ang. longlines), kasneje so začeli gojiti še ladinke in evropsko ostrigo, to so vrste ki zahtevajo drugačen bolj zahteven način gojenja (v košarah) in imajo na trgu višjo ceno (Bolje in sod., 2019).

V Centralnem registru objektov akvakulture in komercialnih ribnikov (CRA) je bilo leta 2023 registriranih sedem subjektov, ki so se ukvarjali z marikulturo, medtem ko so bili aktivni štirje (od tega so trije sodelovali v anketi). Trenutno je pridelava slovenskih školjkarjev pod 1000 tonami (glavnino predstavljajo klapavice in v manjšem deležu ladinke in ostrige), školjčišča so v Piranskem, Strunjanskem zalivu in v zalivu Sv. Jerneja ob Debelem rtiču, v letu 2019 je bila površina namenjena za gojenje školjk 900,340.73 m² (90 ha), s hektarskim donosom 25 t ha⁻¹. Trenutno poteka gojenje na površini 59 ha in se v letih 2023 in 2024 ni spreminjala (SURS, 2025). Po načrtih bi lahko gojenje potekalo na še dodatnih 76 ha površin (Flander-Putrlje in sod., 2020). Glede na podatke o pridelavi (SURS, 2023) in glede na aktivna gojišča v letu 2018 je bil pridelek v tem letu 15.2 tone na hektar. Pridelek je odvisen tudi od gostote nasaditve, in ob višji gostoti naselitve bi lahko pridelali do 60 ton na hektar ob upoštevanju 18 mesečnega cikla rasti, najbolj konzervativen izračun pokaže na pridelek 12 ton na hektar (Flander-Putrlje in sod., 2020).

Slika 34 prikazuje naraščanje pridelave in površine za gojenje školjk; v letu 1990 so pridelali 77 ton, v letu 2019 so pridelali 789,3 tone v glavnem klapavic. Izrazit padec v pridelavi v letih 2010-2012 je bil zaradi dolgotrajnega cvetenja škodljivih alg, ko je bila prepovedana prodaja školjk (povzeto po Ramšak in sod., 2024). Analiza je pokazala, da od leta 2020 pridelek školjk upada.



Slika 34: Letna pridelava školjk, iztovor rib in površina namenjena za gojenje školjk od leta 1990 do leta 2022 (vir: Ramšak in sod., 2024).

Plenilci in cvetenje alg imajo velik vpliv na pridelavo školjk, poleg tega je njihovo pojavljanje zelo nepredvidljivo. V zadnjih letih se je pojavil problem zaradi plenjenja orad, ki je znan tudi ob hrvaški obali (Šegvić-Bubić in sod., 2011, Glamuzina in sod., 2014). Po ocenah prizadetih

školjkarjev je bilo v poletju 2023 zaradi plenjenja orad izgubljenih okoli 30% nasajenih klapavic (Primorske novice, 2023). Škodo smo zabeležili tudi v času vzorčenja v letu 2023, kjer so ostale prazne mrežice, ker so orade pojedle najmlajšo kohorto klapavic in tako zmanjšale pridelek v naslednjih dveh letih. Pristojno ministrstvo je odredilo izreden izlov orad na območju školjčišč, da bi tako preprečili nadaljnjo škodo. V poletju 2023 smo tudi dokumentirali pojav ploskih črvov, ki so plenilci školjk, njihova prisotnost v školjčiščih je bila vse do konca jeseni 2023 (Ramšak in sod., 2024), pojavljali so se tudi v poletju 2024 in 2025, glede na analizo mitohondrijskih markerjev gre za tujerodno vrsto *Postenterogonia orbicularis* (Ramšak in sod., neobjavljeno), ki je znan plenilec školjk. Školjkarji so večkrat izrazili, da bi premestitev školjčišč na bolj oddaljena območja od obale omogočila bolj optimalno gojenje školjk zaradi več vzrokov: zmanjšal bi se pritisk zaradi plenilcev (orade, ploski črvi) in možnost kontaminacije (HAB), zaradi večje globine so temperature ugodnejše, še posebej v vročih poletjih, kar bi pomenilo manjši stres za školjke, manjši vpliv onesnažil s kopnega. Možne lokacije za školjčišča so opredeljene v strokovni nalogi Možnosti za povečanje potenciala lokacij za marikulturo na obali in v slovenskem morju, kjer je predlagano poleg novih lokacij tudi postavitve multitrofične akvakulture; kot je gojenje školjk v bližini ribogojnic, gojenje školjk na morskem dnu v Piranskem in Strunjanskem zalivu (Flander-Putrlje in sod., 2020).

Gojenje školjk je odprt sistem in je neločljivo odvisen od razpoložljivega fitoplanktona, ki je hrana školjkam, od temperature morske vode in tokov. V preteklosti je bil Tržaški zaliv opredeljen kot zelo produktivno okolje, ki je bilo primerno za školjkarstvo, a je v zadnjih dveh desetletjih postal oligotrofno okolje (Mozetič in sod., 2009) in tudi bolj toplo (Kralj in sod., 2019). Številni vidiki teh sprememb še niso razumljeni, niti njihove posledice za školjkarstvo v severnem Jadranu.

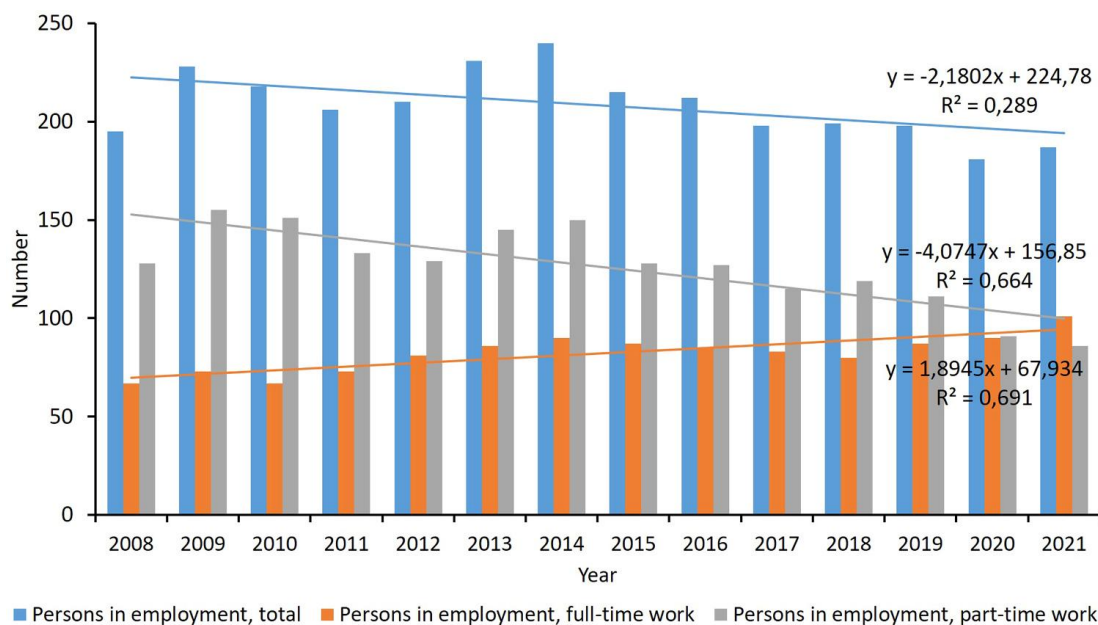
Kljub temu, da je školjkarstvo sprejeto kot okolju prijazna dejavnost, moramo omeniti tudi nekatere negativne vidike kot so ustvarjanje sekundarnega trdnega detritnega dna, spremembe v sestavi bentoške združbe v školjčiščih, morebitna poraba fitoplanktona v okolici školjčišč, spremembe v lokalni hidrodinamiki, smeti in tujerodne vrste (Forget in sod., 2020, Suplicy in sod., 2018, Timmermann in sod., 2019). Infrastruktura kot so viseče linije lahko spremenijo tokovanje, pojavi se lahko erozija okoliških območij, ali odlaganje sedimenta (Cabre in sod., 2021). Ti dejavniki še vedno niso dobro raziskani v slovenskem morju, prav tako ne poznamo nosilne kapacitete slovenskega morja.

Za razvoj školjkarstva je pomemben strateški dokument Nacionalni strateški načrt za razvoj akvakulture v Republiki Sloveniji za obdobje 2021- 2023, ki ga je pripravilo MKGP v letu 2022 (NSNA 2021 -2030). V dokumentu so opredeljena področja, ki so pomembna za razvoj akvakulture in znotraj tega tudi za razvoj školjkarstva kot so usklajeno prostorsko načrtovanje, optimizacija administrativnih postopkov, sledljivost proizvodov iz akvakulture, inovacije, raziskave in zbiranje podatkov, dobrobit živali, ohranitev biodiverzitete in odpornost na klimatske spremembe ter namenska sredstva za to dejavnost (NSNA 2021 -2030). Korak v tej smeri predstavlja študija z naslovom Možnosti za povečanje potenciala lokacij za marikulturo na obali in v slovenskem morju v kateri so bila predlagana nova območja za marikulturo (Flander-Putrlje in sod., 2020).

V okviru te projektne naloge smo ugotovili, da školjkarstvo ni bilo deležno raziskav, tako z vidika gojitvenih tehnik, vpliva okoljskih parametrov na rast školjk, niti z socioekonomskega vidika. Podatki o školjkarstvu so razpršeni in pomanjkljivi in so v obliki posameznih opisov dejavnosti in enostavnih opisov gojitvenih tehnik. Razlog tiči v tem, da je sektor izjemno majhen, z nizkimi prihodki, majhnim številom zaposlenih in enostavnimi gojitvenimi tehnikami. Zaradi podnebnih sprememb in negotovosti v oskrbni verigi se je povečalo tudi zanimanje za akvakulturo, še posebej za školjkarstvo, ki je enostavno, trajnostno s kratko oskrbno verigo, poleg tega imajo školjke veliko hranilno vrednost ter predstavljajo ponor ogljika.

V projektu smo se osredotočili na analizo školjkarstva, na napredek in težave v sektorju, kakor tudi na priložnosti in inovacije. Podatke smo pridobili z obsežnim delno strukturiranim intervjujem v decembru 2022 in januarja 2023. Vprašalnik je obsegal 73 vprašanj in z njimi smo dobili vpogled v opis poslovnega modela, načine gojenja, marketing, infrastrukturo, ki jo uporabljajo na morju in na kopnem, nadzor nad neoporečnostjo pridelkov ter težave in rešitve. V letu 2023 so bili aktivni štiri subjekti, podatke smo pridobili od treh subjektov. Eden od njih se je ukvarjal s školjkarjenjem že od leta 1994, drugi od 2000 in eden od leta 2003. Njihovi poslovni modeli so različni; eden se ukvarja z ribolovom in školjkarstvom (vsaka dejavnost zajema 50 %), eden ima školjčišče in vzreja še brancine, kar je poglobljena dejavnost, medtem ko se tretji subjekt ukvarja izključno s školjkarstvom (90% pridelave so klapavice, 10% ladinke). Eden ima tudi dovoljenje za gojenje ostrig, in eden preizkuša različne metode za njihovo gojenje. Največji pridelovalec ima 20.000 visečih mrež na školjčiščih, kar omogoča vzporedno gojenje treh generacij klapavic.

Prevladujoča tehnika za gojenje klapavic je na visečih linijah in so jo privzeli od italijanskih školjkarjev. Boje držijo nad vodo vrvi na katere so obešene mrežice s klapavicami, na obeh koncih so vrvi zasidrane. Školjkarji imajo zagotovljen privez v ribiškem pristanišču, večja plovila so opremljena s sistemom za dvigovanje mrežic, tekočim trakom za čiščenje, razvrščanje školjk po velikosti, pakiranje in tehtanje. Dva subjekta imata avtomatizirano pobiranje in čiščenje školjk na plovilu. Diverzifikacija v sektorju je omejena na turistične izlete na školjčišča z gastronomsko ponudbo, izobraževalne vsebine, in druge podvodne aktivnosti po željah naročnikov. Školjke prodajajo cele kot surov proizvod neposredno v restavracije, ribarnice ali v supermarkete. V Sloveniji ni predelave školjk kakor je poznajo v drugih državah (npr. Španija). Pregled sektorja marikulture pokaže, da je to majhen sektor v katerem so zaposlitve za polovični delovni čas. V letih 2020 in 2021 (v času COVID) se je število zaposlenih zmanjšalo tudi zaradi manjše potrošnje (Slika 35), takšen trend je bil opažen tudi v drugih regijah v akvakulturi v EU in (Mangano in sod., 2022, Nielsen in sod., 2023) in na Hrvaškem (Pečarević in sod., 2023).



Slika 35: Prikaz zaposlenih v marikulturi v Sloveniji od leta 2008 do leta 2021 (vir: Ramšak in sod., 2024).

Poleg tega imajo še ustrezen vozni park (kombije) za razvoz školjk, hlajene skladiščne prostore z manjšimi bazeni. Samo večji školjkarji imajo omenjeno mehanizacijo, ki jim olajša delo pri polnjenju mrežic s klapavicami in pri presajanju ter pobiranju školjk, enako velja za depuracijski sistem. Potrebno opremo za školjčičišča nakupijo v Italiji, večina opreme v školjčičišču zdrži do 10 let, medtem ko so mrežice za nasajanje potrošni material.

Do sedaj jim neurja, valovanje, vetrovi na morju niso povzročala škode na školjčičiščih. Školjkar, ki se ukvarja še z ribolovom ne poseduje mehanizacije in večino dela opravi ročno. Največji strošek predstavlja vzdrževanje plovil (okoli 5000 €/leto) in infrastrukture na školjčičiščih kot so sintetične vrvi (270 do 300 €), boje (70 €), mrežice za klapavice (60–65 €), embalaža za prodajo klapavic (60 €). V preteklosti so pridobili evropska sredstva za v višini 60-odstotnega sofinanciranja za infrastrukturo. Dostop do EU sredstev je administrativno zapleten, težko si privoščijo sofinanciranje in čakanje na povračilo stroškov, ki traja 6 mesecev.

Školjkarji nabirajo mladice (ličinke na stopnji pedivelinger) iz narave na lovilcih (vrveh), ki visijo ob školjčičišču in jih nato presadijo v bombažne mrežice. V Sloveniji ali v bližini ni valilnice za klapavice. Pred leti so mladice kupovali v Italiji, vendar so postale predrage glede na njihov dohodek. Ko pobirajo klapavice jih sortirajo po velikosti in tiste, ki ne ustrezajo prodajni velikosti nato nasadijo v mrežice in jih obesijo nazaj v školjčičišče. Del školjk v notranjosti mrežice nima optimalnih pogojev za hranjenje zato rastejo počasneje. Presajanje klapavic poteka dvakrat do štirikrat odvisno od rasti, prodajno velikost dosežejo od 4 do 7 cm, običajno v 18 mesecih do dveh ali dveh letih in pol. Klapavic ne pobirajo kadar se v morju pojavijo dinoflagelatske alge, ki izločajo toksine ali zaradi mikrobiološke kontaminacije. Največ klapavic poberejo poleti, ko je tudi povpraševanje največje, največ jih prodajo v restavracije, ribarnice in supermarkete (60 do 70%). Prodana masa školjk je od 3 do 7 ton letno (mali školjkar), in 150 do 200 ton na leto (večji školjkarji), cena za klapavice se giblje od 2.5 do 4.5 €/kg. Potrošnja

klapavic je dovolj velika, da ne potrebujejo dodatnega oglaševanja, poleg tega jih prodajajo še v Italiji, na Hrvaškem in v Franciji (predvsem ladinke, ki so bolj cenjena vrsta).

Nadzor nad pridelki, preden ti pridejo na tržišče opravljajo Uprava za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin (UVHVVR), zdravstveni inšpektorat, tržni inšpektorat, ribiška inšpekcija, finančna inšpekcija. Sledljivost zagotavljajo z uradno dokumentacijo (kalibracija tehtnic, vrsta školjk, način prodaje in dostave). Vsak mesec pripravijo finančno poročilo, poročilo o izkoriščenosti površine za školjčičišča oddajo enkrat letno Direkciji za vode in Direktoratu za hrano in ribištvo (MKGP). Skoraj vsak teden oddajo vzorce školjk UVHVVR, kjer nadzirajo vsebnost toksinov, kontaminacijo z bakterijami, medtem ko vsebnost težkih kovin kontrolirajo dvakrat letno. Želijo si, da dobijo izvide čimprej (še posebej na toksine dinoflagelatov), ker njihova prisotnost pomeni zaustavitev prodaje. Takoj, ko so obveščeni prenehajo s pobiranjem školjk.



Slika 36: Proces čiščenja in pakiranja klapavic na plovilu. Foto: Andreja Ramšak, NIB.

Največjo težavo za zagon dejavnosti predstavlja pridobitev koncesije (kar lahko traja leta), ter investicija za nakup plovila in plačilo priveza. V preteklosti so imeli težave, ker je bilo slovensko morje klasificirano kot območje B za gojitev školjk in so morali investirati v depuracijske sisteme. Škodljiva cvetenja alg so jim povzročala škodo v preteklosti, ki pa je bila odvisna tudi od časa ko se je pojavilo cvetenja alg. Kadar se je pojavilo v poznopoletnem ali jesenskem času je bila ekonomska izguba manjša, ker je takrat tudi manjše pobiranje pridelka. Ob času študije so opazili, da pridelava klapavic upada, kot vzroke so našli rebrače, ki plenijo ličinke klapavic, visoke poletne temperature morja, orade, ki plenijo klapavice v školjčičiščih, po njihovih ocenah znaša izguba zaradi orad do 80% pridelave. Posebej kritično je bilo poletje 2023, ko so orade v kratkem času oplenile tretjino školjk (Primorske novice, 15. 9. 2023). Izgube klapavic zaradi plenilcev so še pred letom 2023 bile velike v školjčičiščih v Piranskem in Strunjanskem zalivu (tudi do 50% pridelka), medtem ko so se orade pojavile v školjčičiščih ob Debelem rtiču v letu 2023. Školjkarji ne uporabljajo odganjalcev za ribe. Opažajo, da visoke temperature morja povzročajo počasno rast školjk in da je na lovilcih manj mladice, četudi so ob školjčičiščih nastavili več lovilcev.

Školjkarji redno opazujejo obrast na klapavicah in na infrastrukturi, prav tako so v školjčičišču opazili naslednje tujerodne vrste *Clavelina oblongata*, skakavko (*Pomatomus saltatrix*), pacifiško ostrigo (*Magallana gigas*), rebrače.

Povprašali smo jih tudi ali jih skrbi onesnaženje in še posebej onesnaženje z mikroplastiko, povedali so, da jih onesnaževanje ne skrbi, tudi zaupajo analizam, bolj jih skrbi morebitna gradnja plinskega terminala v Žavljah.

Školjkarstvo je močno odvisno od naravnih danosti in se težko prilagaja spremembam v okolju. Glede na spremembe v morskem okolju in številne plenilce, menijo da je nujna premestitev školjčičišč na bolj oddaljene lokacije, kjer je morje tudi globlje. Na obstoječih parcelah širitev školjčičišč ni več možna, oddane so tudi vse vodne pravice. Večji školjkarji razmišljajo, da bi začeli z gojenjem drugih vrst školjk, pri čemer navajajo kot največji strošek nakup mladice. Eden od školjkarjev meni, da je na dobri poti, da optimizira gojenje evropske ostrige, ki ima višjo ceno na tržišču. Dva školjkarja menita, da bi zaradi razmer v okolju bili školjkarji upravičeni do povrnitve škode (škoda zaradi plenilcev), koristna bi bila nepovratna sredstva za investicije in za promocijo ekološke pridelave in za promocijo školjk kot zdrave hrane. Menijo, da bi vzpostavitev blagovne znamke (npr. školjke iz Istre) doprinesle k večji prodaji. Želijo si tudi več znanja za izboljšave v gojitvi ladink in ostrig. Predlagajo tudi subvencioniranje zaposlitve, kajti stroški dela so veliki ter poenostavitve administrativnih postopkov za pridobivanje sredstev iz strukturnih skladov. Školjkarji menijo, da je sodelovanje z različnimi deležniki dobro. V Sloveniji ni zadruga, ki bi združevala subjekte iz marikulture.

Analiza biomarkerjev fiziološkega stanja školjk v školjčičišču ter simulacija učinkov toplotnega stresa na školjke

Med parametri fiziološkega stanja so pomembni peroksidacija lipidov (narejeni po metodi TBARS), aktivnost encima katalaza, in aktivnost encima superoksid dismutaza (SOD), ki so del antioksidativnega obrambnega sistema, ki ga sprožijo številni dejavniki (onesnaženje, toplotni stres). Analize smo naredili v prebavni žlezi in v škregah, ker gre za dva različna organska sistema, ki se različno odzoveta. Izbrani biomarkerji (SOD, katalaza, GST) so del obrambnega sistema proti oksidativnemu stresu, ki stalno odstranjuje nastale proste kisikove radikale (ROS). ROS, ki jih obrambni sistem ne zmore odstraniti povzročajo poškodbe makromolekul kot so proteini, lipidi, DNA in kadar je njihov nastanek hitrejši od zmogljivosti obrambnega sistema pride do neravnotežja. Sprožilci ROS so različni od onesnažil, ki so v okolju klapavic in se v telesu klapavice razgrajujejo; toplotni stres in drugi abiotiski parametri, ki presegajo reakcijske norme klapavic. Z analizami aktivnosti obrambnega sistema proti ROS merimo koliko je le-ta aktiviran. Peroksidacija lipidov je posledica oksidativnega stresa in je pokazatelj poškodb zaradi ROS v celici.

Pričakovali smo, da je aktivnost SOD višja v prebavni žlezi, ki je metabolno bolj aktivno tkivo kakor so škrge. Od meseca aprila 2024 do septembra 2024 je razlika v aktivnosti med obema tkivoma izjemno majhna, in je lahko posledica toplotnega stresa, ki so mu bile izpostavljene klapavice. SOD aktivnost v škregah je bila povišana od aprila 2024 do septembra 2024, izmerili

smo, da je aktivnost SOD povzročila 90% inhibicijo redukcije WST-1 (Slika 23). V škrgah je bila sposobnost SOD za inhibicijo 70%.

Večji kot je obseg oksidativnega stresa - več kot je nastalih ROS, večji je obseg peroksidacije lipidov, ki se kaže kot nastanek reaktivnih substratov tiobarbiturične kisline (TBARS). Obseg peroksidacije lipidov v škrgah in prebavni žlezi sredozemskih klapavic smo testirali z dvema metodama, da bi dobili najprimernejši in najučinkovitejši protokol. Vrednost MDA je v prebavni žlezi višja kakor v škrgah, prav tako je variabilnost izjemno velika. Vrednost peroksidacije lipidov se poveča z višjimi temperaturami morja, kar kaže na oksidativni stres, ki so mu bile izpostavljene klapavice.

Aktivnost katalaze je višja v prebavni žlezi, ki je metabolno bolj aktivna kakor v škrgah. V hladnejših mesecih (november 2023 je bila izmerjena aktivnost $5,5 \text{ umol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteinov, in decembru 2023 ($5 \text{ umol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteinov), nato je padla od januarja 2024 do aprila 2024, ko je bila dosežena najnižja aktivnost v prebavni žlezi in je primerljiva z aktivnostjo v škrgah. Domnevamo, da je zaradi oksidativnega stresa izčrpana sposobnost antioksidativnega obrambnega sistema v prebavni žlezi, kajti aktivnost katalaze ostaja višja skozi celo leto v prebavni žlezi klapavic, kadar te niso podvržene toplotnemu stresu (Ramšak A., neobjavljeni podatki).

Aktivnost GST je bila višja v škrgah kar se odraža skozi celotno obdobje in doseže višek v aprilu 2024 (24 nmol/min/mg proteinov) in maju 2024 (21 nmol/min/mg proteinov). Aktivnost GST v prebavni žlezi pa je bila od $4,1 \text{ nmol/min/mg}$ proteinov (januar 2024) do $8,7 \text{ nmol/min/mg}$ proteinov v juniju 2024. Izmerjene aktivnosti so v okviru pričakovanih vrednosti za sredozemske klapavice.

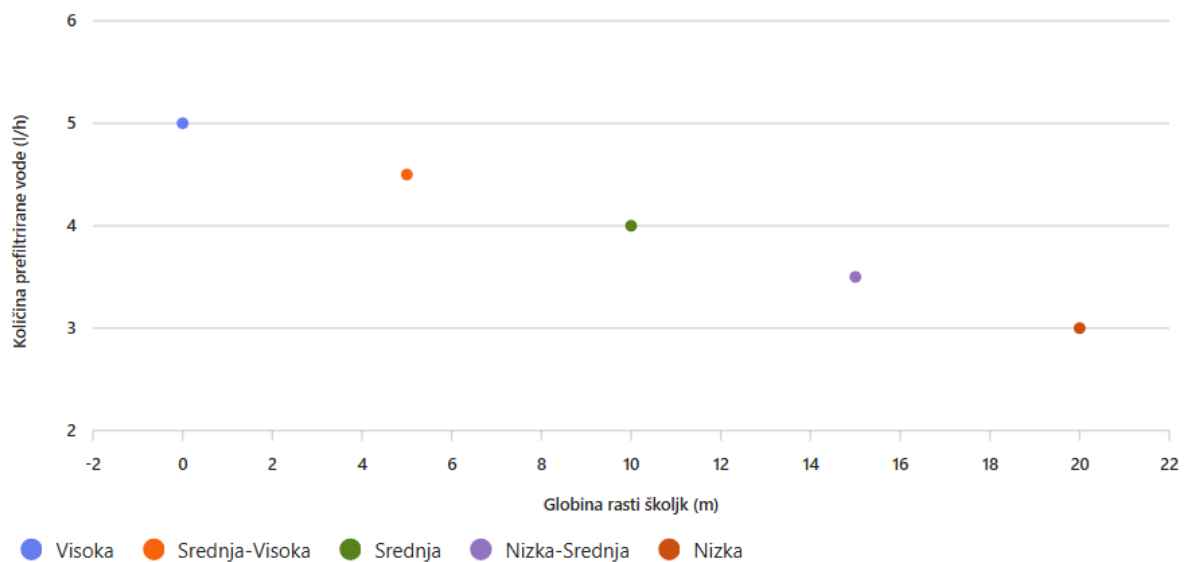
Aktivnost AChE je pomemben biomarker, kajti inhibicija encima pomeni, da je prenos živčnih impulzov inhibiran zaradi česar je slabša aktivnost migetalk na škrgah, ki usmerjajo hrano proti želodcu. Ugotovili smo, da je bila aktivnost AChE najvišja v mesecu juniju 2024 ($7,3 \text{ nmol acetilholina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteinov) in v marcu 2024 ($9,8 \text{ nmol acetilholina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteinov), in nižja v drugih mesecih (februar 2024 $2,3 \text{ nmol acetilholina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteinov).

Vsi analizirani biomarkerji odražajo fiziološki odziv na katerega vplivajo različni dejavniki, med katerimi je zelo pomemben stresor povišana temperatura morja, ki poleti preseže optimalno temperaturo primerno za klapavice, odziv biomarkerjev modulirajo tudi onesnaženje in visoke koncentracije mikroplastike. Rezultati kažejo na velik fiziološki stres v klapavicah, in bodo v nadaljevanju še sklopljeni z abiotskimi razmerami v okolju. V svetu je v zadnjem desetletju zabeleženih vedno več nenadnih in nepojasnjenih smrtnosti v različnih vrstah klapavic (Capelle in sod., 2021). Predlagamo redno spremljanje zdravstvenega in fiziološkega stanja klapavic, da bi lahko ugotovili možne vzroke za veliko smrtnost. Prirastek lahko spremljamo z različnimi kondicijskimi indeksi na način kot smo ga uporabili v tej projektni nalogi, ki je razmeroma enostaven.

Mikroplastika v školjčičih

Raziskovali smo stanje onesnaženosti z mikroodpadki na školjčiču v Piranskem zalivu in izpostavljenost školjk mikroodpadkom. Prisotnost mikroodpadkov v morski vodi se je najbolj

spreminjala v prvem metru globine, medtem ko je bila na petih metrih bolj ali manj enaka skozi celo leto. Najvišje koncentracije so bile izmerjene v jeseni 2023, v preostalih vzorčenjih pa so bile zgolj 1 - 3 delce v m⁻³ vode. V morski vodi je značilno, da velik delež plastičnih materialov plava na vodi, saj je njihova specifična gostota manjša od gostote morske vode. Tako je značilno, da so koncentracije mikroodpadkov v prvih pol metra globine višje (Zhao in sod., 2025). Izpostavljenost školjk mikroodpadkom se tako zmanjšuje z globino vode. Klapavice na školjčičih rastejo od dveh metrov globine naprej. Na globini 5 metrov so klapavice izpostavljene bolj ali manj stalnim koncentracijam mikroodpadkov, ki pa so dokaj nizke (1 – 3 delce m⁻³). Če predpostavimo, da *Mytilus galoprovincialis* lahko prefiltrira 120 – 150 litrov vode na dan, to pomeni, da prefiltrira tri delce mikroodpadkov v enem tednu. Izpostavljenost školjk mikroodpadkom se zmanjšuje z globino, prav tako pa se z globino zmanjšuje tudi hitrost filtriranja vode pri školjkah (Slika 38).



Slika 38: Graf prikazuje kako se zmanjšuje količina prefiltrirane vode pri školjkah z njihovo globino rasti ter na kateri globini je izpostavljenost školjk mikroplastiki višja/nizja (vir: generirano z AI M365 Copilot).

V vseh tipih vzorcev (morska voda, sedimenti, klapavice) so prevladovala tekstilna vlakna. Le teh je bilo >90% vseh mikroodpadkov, z izjemo morske vode, kjer jih je bilo 87%. Školjke so v morju v največji meri izpostavljene tekstilnim vlaknom. Največje količine tekstilnih vlaken nastajajo med pranjem oblačil in z odpadnimi vodami vstopajo v okolje. Piranski zaliv je tako najbolj izpostavljen onesnaževanju z mikroodpadki iz gospodinjstev, ki z iztokom iz čistilne naprave Piran in iz malih čistilnih naprav in greznic vstopajo v morje. Tekstilna vlakna so bila prepoznana kot najpogostejša oblika mikroodpadkov že v številnih predhodnih študijah prisotnosti mikroodpadkov v slovenskem morju (Viršek in sod., 2022a) ter tudi predhodni študiji opravljeni na treh slovenskih školjčičih v letu 2022 (Viršek in sod., 2022b).

V vseh tipih vzorcev (morska voda, sedimenti, školjke) smo največje število mikroodpadkov izolirali iz vzorcev pridobljenih novembra 2023. V vodi na globini pol metra so prevladovala

poliesterska vlakna, medtem ko so v sedimentih in školjkah prevladovala celulozna in seminaravna tekstilna vlakna. To kaže na to, da ni direktne povezave med stanjem onesnaženja v vodi, sedimentu in školjkah v trenutnem času vzorčenja. Količina mikroodpadkov na morski površini je zelo spremenljiv parameter, saj je odvisen od površinskih tokov in meritve pokažejo zgolj stanje v času vzorčenja. Mikroodpadki se v morju akumulirajo na morskem dnu in v morskih organizmih (Miller et al., 2020). Koncentracije mikroodpadkov v morskih sedimentih so sicer manj podvržene vremenskim vplivom, razen ekstremnim, ko zaradi močnega valovanja prihaja do resuspenzije sedimenta. Koncentracije mikroodpadkov v sedimentih se bolj kot vremensko, spreminjajo na nivoju mikrolokacij, kar pomeni, da so rezultati močno odvisni od mikrolokacije na kateri vzorčimo sediment. Zato smo tudi v našem primeru vzorčili po tri podvzorce na lokacijo (torej tri mikrolokacije). Koncentracije v novembru 2023 so bile morda najvišje zaradi vzorčenja, ki je potekalo preko zgornjega sloja morske vode, ki pa je bil v tistem času tudi močno onesnažen z mikroodpadki. Školjke, ki rastejo tik nad morskim dnom, so tudi bolj izpostavljene mikroodpadkom, ki se resuspendirajo skupaj s sedimentom ob močnejšem valovanju.

Koncentracije mikroodpadkov v morski vodi in sedimentih so torej lahko zelo spremenljive, saj so odvisne od okoljskih dejavnikov, medtem ko se mikroodpadki v školjkah akumulirajo in niso pod vplivom trenutnih vremenskih razmer. Retenzijski čas školjk za mikroodpadke se razlikuje glede na velikost, obliko in kemijsko sestavo mikroodpadkov. Manjši delci (5 – 10 μm) se zadržijo dlje časa. Ti delci se lažje prenesejo v tkiva, kot je hepatopankreas, kjer ostanejo tedne ali celo mesece (Fernández in Albentosa, 2019). Večji delci (>50 μm) se izločijo hitreje, pogosto v nekaj dneh, ker jih školjka zavije v sluz in odstrani kot pseudofeces. Dolgotrajna prisotnost mikroodpadkov v tkivih pomeni bioakumulacijo. To pa bi bil lahko tudi razlog, da smo v školjkah zaznali največjo pestrost mikroodpadkov glede na kemijsko sestavo. Školjke so tako dober bioindikator onesnaženosti z mikroodpadki, saj zadržujejo le te dalj časa kot večina drugih organizmov.

Pri preverjanju ali se mikroodpadki, ki smo jih našli v morski vodi, sedimentih in školjkah ujemajo po barvi, obliki in materialni sestavi s plastičnimi mrežicami za gojenje školjk, smo našli le 4 delce v vzorcih vode, ki bi potencialno lahko izhajali iz mrežic za gojenje školjk (torej polipropilen, bele barve). Glede na to, da so v vseh vzorcih med mikroodpadki krepko prevladovala tekstilna vlakna, lahko zaključimo, da so školjke v Piranskem zalivu bistveno bolj izpostavljene onesnaževanju iz odpadnih vod gospodinjstev, kot pa plastičnim materialom, uporabljenih za gojenje školjk. Infrastruktura za gojenje školjk po naših raziskavah ne predstavlja pomembnega vira onesnaženja z mikroplastiko v morju.

Analiza z orodji strojnega učenja je pokazala velik vpliv oceanografskih dejavnikov in letnih časov na količino mikroodpadkov tako v morski vodi kot v školjkah. V nadaljevanju zato podrobneje opisujemo vpliv najpomembnejših dejavnikov na ciljne spremenljivke in mehanizme, na katere tako oceanografski dejavniki kot letni časi vplivajo na koncentracijo mikroodpadkov v morskem okolju in tkivih školjk.

Fizični transport mikroodpadkov v pelagičnem in priobalnem sistemu močno usmerjajo smer vetra, valovanja in vodnih tokov. Smer vetra namreč preko površinske plasti neposredno

povzročajo premik vode in s tem mikroodpadkov (Ekmanov transport). Na ta način lahko predvsem močnejši in 'pravilno' usmerjeni vetrovi znatno povečajo koncentracijo plastičnih delcev v določenih območjih, v primernih pogojih tudi v območjih školjčičšč (Zhang, 2017). V kombinaciji s smerjo valovanja in površinskega toka se delci lahko bodisi akumulirajo ob obalah ali iztokih rek bodisi se usmerijo proti teritorialnemu morju. Na različnih globinah morja ključno vlogo igrajo morski tokovi: plastični delci, ki imajo nekoliko večjo gostoto ali so delno potopljeni (npr. vezani na agregate ali biotske materiale), se lahko premikajo po vertikalnih gradientih (nastalih zaradi vetra in/ali temperaturne/slanostne stratifikacije), pri stiku z valovi in/ali gibanju vodnih mas v vertikalni smeri (ang. upwellingu, downwelling) pa dobijo dodatno gibljivo količino za spust v globine ali dvig na površino (Li s sod., 2023). Tudi v školjkah bo višja koncentracija tam, kjer so delci mikroodpadkov skoncentrirani v morski vodi zaradi različnih dinamičnih fizikalnih procesov.

Pri tem sta smer in intenzivnost vodnih tokov dva izmed najpomembnejših dejavnikov z največjim vplivom na koncentracijo in razporeditev mikroodpadkov po globini, dodatno pa na dinamiko razporeditve vpliva tudi plimovanje. Tokovi, tako površinski kot tisti na večjih globinah, neposredno vplivajo na advekcijo mikroodpadkov. Predvsem v priobalnem območju so fizikalni procesi zelo intenzivni in kompleksni, na vrednost koncentracije mikroodpadkov v vodnem stolpcu pa v plitvini vpliva tudi izmenjava snovi med vodo in sedimenti (von Schuckmann in sod., 2021), ki povzročita da se v školjčičščih na takih območjih lokalno pojavljajo višje vrednosti mikroodpadkov. V plitvih območjih je zelo velik tudi vpliv vetra, ki lahko seže do dna in dodatno vpliva na izmenjavo snovi med vodo in sedimenti (Li in Meng, 2025).

V Tržaškem zalivu lahko na osnovi horizontalnih tokov pričakujemo, da bodo mikroodpadki, vneseni s povečanimi rečnimi pritoki ali priobalnimi dejavnostmi, pod vplivom vetrov in tokov premeščeni vzdolž obale, kar lahko povzroči lokalno povečanje koncentracij v posameznih delih zaliva.

Poleg neposrednih vplivov fizikalnih procesov pa je zelo pomemben tudi posredni vpliv na oceanografske pogoje, ki se spreminjajo z letnimi časi. Spremembe v solarni radiaciji in temperaturi zraka in morja vplivajo na hidrodinamične razmere, mešanje vodnega stolpca in posledično razporeditev mikroodpadkov. V toplejših mesecih so vodne plasti bolj stratificirane (termoklina: topel površinski sloj, hladnejše globlje plasti), kar omeji mešanje vode v vertikalni smeri. V tem primeru se mikroodpadki v večjih koncentracijah nahajajo v površinskem sloju morja. V hladnejših mesecih pa so zaradi obsežnejšega mešanja vode v vertikalni smeri mikroodpadki v večji meri porazdeljeni po globini (Tseng s sod., 2024).

Financerji

Projekt Vpliv okoljskega stresa na zdravje in prirastek školjk ter izboljšave vzrejnih praks zaradi mikroplastike in podnebnih sprememb (šifra V1-2205) je financiralo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije in Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) iz proračunskih sredstev, v okviru Ciljnega

raziskovalnega programa (CRP) »NAŠA HRANA, PODEŽELJE IN NARAVNI VIRI« V LETU 2022 (Uradni list RS, št.56/22, z dne 22.4.2022). Projekt sodi v Težišče 1 Pametno, odporno in konkurenčno kmetijstvo, gozdarstvo, ribištvo in živilsko predelovalni sektor in temo 1.1.5. Vpliv plastičnih odpadkov na zdravje mehkužcev ter okoljskega stresa na prirastek školjk in izboljšanje vzrejnih praks zaradi podnebnih sprememb. Nosilna raziskovalna organizacija je bila Nacionalni inštitut za biologijo, sodelujoča raziskovalna organizacije je bila Inštitut za vode Republike Slovenije.

Zahvala

Zahvaljujemo se Tanji Kobal in Živi Muhič (NIB), Liji Skomina in Vanji Modrušan (UP FAMNIT), Matjažu Kepec in Primožu Miheliču (IZVRS) za tehnično pomoč pri izvedbi projektnih aktivnosti, dr. Tatjani Mijošek Pavin (IRB) in dr. Roku Soczka Mandac (IZVRS) se zahvaljujemo za znanstvene napotke in sodelovanje pri izvedbi aktivnosti.

Literatura

Avdelas, L., Avdič-Mravljje, E., Borges Marques, A.C., Cano, S., Capelle, J.J., Carvalho, N., Cozzolino, M. et al. 2021. The decline of mussel aquaculture in the European Union: causes, economic impacts and opportunities. *Rev Aquac*, 13: 91–118. doi: <https://doi.org/10.1111/raq.12465>

Bajt, O., Ramšak, A., Milun, V., Andral, B., Romanelli, G., Scarpato, A., Mitrić, M. et al. 2019. Assessing chemical contamination in the coastal waters of the Adriatic Sea using active mussel biomonitoring with *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Pollut. Bull.*, 141: 283–298. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.007>

Barange M, Bahri T, Beveridge MCM, Cochrane KL, Funge-Smith S, Poulain F (2018) Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627*. vol. 628 FAO, Rome.

Basu, S. and Mackey, K.R.M. (2018) Phytoplankton as Key Mediators of the Biological Carbon Pump: Their Responses to a Changing Climate. *Sustainability* 10(3), 869.

Bayne, B.L. (2017) Oysters and the Ecosystem. In: *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. 41:703-834. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803472-9.00010-8>

Baquedano M., Chávez C., Dresdner J. in Eggert H. 2025. The Rise of Mussel Aquaculture in Chile: Causes, Effects, and Challenges. *Reviews in Aquaculture*: 3-5, 9-11.

Beyer, J., Green, N.W., Brooks, S., Allan, I.J., Ruus, A., Gomes, T., Bråte, I.L.N. et al. Blue mussels *Mytilus edulis* spp.) as sentinel organisms in coastal pollution monitoring: a review. 2017. *Mar. Environ. Res.*, 130: 338–365. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.07.024>

Boicourt, W.C., Ličer, M., Li, M., Vodopivec, M. and Malačič, V. (2020) Coastal ecosystems in transition: A comparative analysis of the Northern Adriatic and Chesapeake bay. Malone, T.C., Malej, A. and Faganeli, J. (eds), pp. 21-48, American Geophysical Union.

Bouwer LM (2019) "Observed and projected impacts from extreme weather events: implications for loss and damage," in Loss and Damage from Climate Change: Concepts, Methods and Policy Options, eds R. Melcher, T. Schinko, S. Surminski, and J. Linnerooth-Bayer (Cham: Springer), 63–82. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-72026-5_3

Bråte, I.L.N., Hurley, R., Iversen, K., Beyer, J., Thomas, K.V., Steindal, C.C., Green, N. W., Olsen, M., Lusher, A. (2018). *Mytilus* spp. As sentinels for monitoring microplastic pollution in Norwegian coastal waters: A qualitative and quantitative study. Environmental Pollution 243:383-393 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.077>

Brush, M.J., Mozetič, P., Francé, J., Bernardi Aubry, F., Djakovac, T., Faganeli, J., Harris, L.A. and Niesen, M. (2021) Coastal Ecosystems in Transition: A comparative analysis of the Northern Adriatic and Chesapeake Bay. Malone, T.C., Malej, A. and Faganeli, J. (eds), pp. 49-74, American Geophysical Union.

Capelle, J., Garcia, A.B., Kamermans, P., Engelsma, M.Y., Jansen, H.M. (2021) Observations on recent mass mortality events of marine mussels in the Oosterschelde, the Netherlands. Aquaculture International 29:1737-1751. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00713-6>

Catalán IA, Auch D, Kamermans P, Morales-Nin B, Angelopoulos NV, Reglero P, Sandersfield T, Peck MA (2019) Critically examining the knowledge base required to mechanistically project climate impacts: a case study of Europe's fish and shellfish. Fish and Fisheries 1-17 DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12359>

Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z. and Trenberth, K.E. (2019) How fast are the oceans warming? Science 363(6423), 128-129.

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K.E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M.E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., Zhang, B., Tan, Z., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A. and Reagan, J. (2022) Another Record: Ocean Warming Continues through 2021 despite La Niña Conditions. Advances in Atmospheric Sciences 39(3), 373-385.

Cole, M., Lindeque, P., Galloway, T., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Mar. Poll. Bull., 62:2588-2597. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025

Cozzi, S., Falconi, C., Comici, C., Čermelj, B., Kovac, N., Turk, V. and Giani, M. (2012) Recent evolution of river discharges in the Gulf of Trieste and their potential response to climate changes and anthropogenic pressure. Estuarine, Coastal and Shelf Science 115(0), 14-24.

Cozzi, S. and Giani, M. (2011) River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: Current importance and long term changes. Continental Shelf Research 31(18), 1881-1893.

Cozzi, S., Ibáñez, C., Lazar, L., Raimbault, P. and Giani, M. (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), 1.

de Wit, M. and Bendoricchio, G. (2001) Nutrient fluxes in the Po basin. *Science of the Total Environment* 273, 147-161.

Degobbis, D., Precali, R., Ivančić, I., Smoldaka, N., Fuks, D. and Kveder, S. (2000) Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication. *International Journal of Environment and Pollution* 13, 495-533.

Digka, N., Tsangaris, C., Torre, M., Anastasopoulou, A. in Zeri, C. 2018. Microplastics in mussels and fish from the Northern Ionian Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 135: 30– 40. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.063>

El Hourany, R., Mejia, C., Faour, G., Crépon, M. and Thiria, S. (2021) Evidencing the Impact of Climate Change on the Phytoplankton Community of the Mediterranean Sea Through a Bioregionalization Approach. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 126(4), e2020JC016808.

Falkowski, P.G., Katz, M.E., Knoll, A.H., Quigg, A., Raven, J.A., Schofield, O. and Taylor, F.J.R. (2004) The evolution of modern eucaryotic phytoplankton. *Science* 305, 354-360.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2018. Globefish Monthly Trade Statistics. Statistics update: December 2017. FAO, January 2018 issue. 109 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2019. Aquaculture production 1950–2016. In Fisheries and aquaculture software: FishStatJ - Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time Series. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome.

Fernández, B., Albentosa, M. (2019). Dynamic of small polyethylene microplastics ($\leq 10 \mu\text{m}$) in mussel's tissues. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 493-501.

Ferreira R, Ferreira JG, Boogert FJ, Corner RA, Nunes JP, Grant J, Johansen J, Dewey WF (2020) A multimetric investor index for aquaculture: application to the European Union and Norway. *Aquaculture* 516:734600. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734600>

Finkel, Z.V., Beardall, J., Flynn, K.J., Quigg, A., Rees, T.A.V. and Raven, J.A. (2010) Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry. *Journal of Plankton Research* 32(1), 119-137.

Flander-Putrlje, V., Bolje, A., Francé, J., Grego, M., Malačič, V., Petelin, B., Šiško, M. (2020). Možnosti za povečanje potenciala lokacij za marikulturo na obali in v slovenskem morju. Morska biološka postaja, Nacionalni inštitut za biologijo, Piran, končno poročilo.

Flander-Putrlje, V., Francé, J. and Mozetič, P. (2022) Phytoplankton Pigments Reveal Size Structure and Interannual Variability of the Coastal Phytoplankton Community (Adriatic Sea). *Water* 14(1), 23.

Flynn, K.J., Mitra, A., Anestis, K., Anschütz, A.A., Calbet, A., Ferreira, G.D., Gypens, N., Hansen, P.J., John, U., Martin, J.L., Mansour, J.S., Maselli, M., Medić, N., Norlin, A., Not, F., Pitta, P., Romano, F., Saiz, E., Schneider, L.K., Stolte, W. and Traboni, C. (2019) Mixotrophic protists and a new paradigm for marine ecology: where does plankton research go now? *Journal of Plankton Research* 41(4), 375-391.

Francé, J., Obal, R. and Mozetič, P. (2013) O toksičnosti školjk in prepovedi njihove prodaje v povezavi s pojavljanjem toksičnega fitoplanktona v slovenskem morju. *Vestnik veterinarske zbornice* 7, 13-17.

Froese, R., Winker, H., Coro, G., Demirel, N., Tsikliras, A.C., Dimarchopoulou, D., Scarcella, G., Quaas, M., Matz-Luck, N. 2018. Status and rebuilding of European fisheries. *Marine Policy*, 93:159-170. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.018>

Gedik, K., Eryasar, A.R. 2020. Microplastic pollution profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish coasts. *Chemosphere*, 260: 127570. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127570>

Globefish (2018) Monthly Trade Statistics. Statistics update: December 2017. Food and Agriculture Organization. January 2018 issue. 109 pp.

Gombač, M., Sitar, R., Pogačnik, M., Arzul, I., Jenčič, V. 2013. Haemocytic neoplasia in Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in the Slovene Adriatic Sea, *Mar. Freshw. Behav. Physiol.*, 46:2: 135-143. <https://doi.org/10.1080/10236244.2013.782736>

Gomeiro, A., Øysaed, K.B., Agustsson, T., van Haytema, N., van Thiel, T., Grati, T. (2019). First record of characterization, concentration and distribution of microplastics in coastal sediments of an urban fjord in south west Norway using a thermal degradation method. *Chemosphere* 227:705-714, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.096>

Grbec, B., Matić, F., Beg Paklar, G., Morović, M., Popović, R. and Vilibić, I. (2018) Long-Term Trends, Variability and Extremes of In Situ Sea Surface Temperature Measured Along the Eastern Adriatic Coast and its Relationship to Hemispheric Processes. *Pure and Applied Geophysics* 175(11), 4031-4046.

Henigman, U., Mozetič, P., Francé, J., Knific, T., Vadnjak, S., Dolenc, J., Kirbiš, A. and Biasizzo, M. (2024) Okadaic acid as a major problem for the seafood safety (*Mytilus galloprovincialis*) and the dynamics of toxic phytoplankton in the Slovenian coastal sea (Gulf of Trieste, Adriatic Sea). *Harmful Algae* 135, 102632.

Hylland, K., Burgeot, T., Martínez-Gómez, C., Lang, T., Robinson, C.D., Svavarsson, J., Thain, J.E., et al. 2017. How can we quantify impacts of contaminants in marine ecosystems? The ICON project. *Mar. Environ. Res.*, 124: 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.11.006>

Jennings S, Stentiford GD, Leocadio AM, Jeffery KR, Metcalfe JD, Katsiadaki I, Auchterlonie NA, Mangi SC, Pinnegar JK, Ellis T, Peeler EJ, Luisetti T, Baker-Austin C, Brown M, Catchpole TL, Clyne FJ, Dye SR, Edmonds NJ, Hyder K, Lee J, Lees DN, Morgan OC, O'Brien CM, Oidtmann B, Posen PE, Santos AR, Taylor NGH, Turner AD, Townhill BL, Verner-Jeffreys DW (2016) Aquatic

food security: insights into challenges and solutions from an analysis of interactions between fisheries, aquaculture, food safety, human health, fish and human welfare, economy and environment. *Fish Fish* 17:893–938. <https://doi.org/10.1111/faf.12152>

Jiang, T., Pan, H., Steeves, L., Jiang, Z., Filgueira, R., Strand, Ø., Strohmeier, T., Cranford, P.J. and Cui, Z. (2022) Effect of *Mytilus coruscus* selective filtration on phytoplankton assemblages. *Frontiers in Marine Science* Volume 9 - 2022.

Khan, F.U., Hu, M., Kong, H., Shang, Y., Wang, T., Wang, X., Xu, R., Lu, W., Wang, Y. 2020. Ocean acidification, hypoxia and warming impair digestive parameters of marine mussels. *Chemosphere*, 256, 127096. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127096>

Kovač Viršek, M., Lovšin, M. N., Koren, Š., Kržan, A., Peterlin, M. 2017. Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Mar. Pollut. Bull.*, 125(1-2): 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.024>

Kovač Viršek, M., Robič, U., Cerar, N., Jarni, K., Caserman, H., Koren, Š., Suhadolnik, P., Trdan, Š. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2019 : III Razvoj metodologij za področje morskega okolja : III/7 Analiza vnosa makroodpadkov iz vodotokov v morsko okolje in vnosa mikroodpadkov iz vodotokov in odpadnih voda ter določitev stopnje soodvisnosti (pomembna obremenitev) med virom obremenitve in stanjem morskega okolja - nadgradnja metodologije za določitev pomembnih obremenitev na morsko okolje. Inštitut za vode Republike Slovenije, dec. 2019: 167 str.

Kovač Viršek, M., Robič, U., Cerar, N., Hostnik, I., Suhadolnik, P., Jarni, K. Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2021 : V. razvoj metodologij za področje morskega okolja : V. 5 Razvoj metodologij za spremljanje vpliva odpadkov (makro- in mikroodpadki) na ekosistem ter spremljanje stanja morskega okolja - končno poročilo o rezultatih pilotnega monitoringa makro- in mikroodpadkov (površinska plast vodnega stolpca, morsko dno, obala in organizmi) skupaj z metodologijo za spremljanje mikroodpadkov v bentoških nevretenčarjih in zooplanktonu in oceno tveganja za človeka ter metodologijo za spremljanje vpliva makroodpadkov na morske sesalce in morske želve ter obmorske ptice. Inštitut za vode Republike Slovenije, feb. 2021: 176 str.

KOVAČ VIRŠEK, Manca, ROBIČ, Uroš, HOSTNIK, Irma, KEPEC, Matjaž, BIZJAK, Tine, KOZJEK, Marko, TRDAN, Štefan. *Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2022 : 3 Priprava in sodelovanje pri razvoju metodologij za izvajanje EU direktive 2008/56/ES (morska direktiva) : 3.4 priprava strokovnih podlag za pripravo načrta upravljanja z morskim okoljem za obdobje 2028-2033 (NUMO III) 3.4.2 izvajanje pilotnega projekta monitoringa morskega okolja za primarni merili D10C1 in D10C2 : končno poročilo*. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, dec. 2022a

KOVAČ VIRŠEK, Manca, HOSTNIK, Irma, SIRNIK, Nataša, SOCZKA-MANDAC, Rok, SUHADOLNIK, Peter, KOZJEK, Marko, ROBIČ, Uroš. *Poročilo o delu Inštituta za vode Republike Slovenije za leto 2022 : 3. Priprava in sodelovanje pri razvoju metodologij za izvajanje EU direktive*

2008/56/ES (morska direktiva) : 3.4 priprava strokovnih podlag za pripravo načrta upravljanja z morskim okoljem za obdobje 2028-2033 (NUMO III) 3.4.3 študija gibanja mikroodpadkov v školjčičih : končno poročilo. Ljubljana: Inštitut za vode Republike Slovenije, dec. 2022b

Kristan, U., Kanduč, T., Osterc, A., Šlejkovec, Z., Ramšak, A., Stibilj, V. 2014. Assessment of pollution level using *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator species: the case of the Gulf of Trieste. *Mar. Pollut. Bull.*, 89: 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.046>

Labarta, U., Fernández-Reiriz, M.J. 2019. The Galician mussel industry: Innovation and changes in the last forty years. *Ocean Coast. Manag.*, 167: 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.10.012>

Lassus, P., Chomérat, N., Hess, P. and Nézan, E. (2016) Toxic and Harmful Microalgae of the World Ocean / Micro-algues toxiques et nuisibles de l'océan mondial, International Society for the Study of Harmful Algae / Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Denmark. IOC Manuals and Guides, 68.

Li, J., Shan, E, Zhao, J., Teng, J., Wang, Q. (2023): The factors influencing the vertical transport of microplastics in marine environment: A review. *Science of The Total Environment*, Vol. 870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161893>

Li, W., Meng, F. (2025): Microplastics in marine systems: A review of sources and sinks, typical environmental behaviors, and biological effects. *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 214. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117758>

Malačič, V., Celio, M., Čermelj, B., Bussani, A. and Comici, C. (2006) Interannual evolution of seasonal thermohaline properties in the Gulf of Trieste (northern Adriatic) 1991-2003. *Journal of Geophysical Research* 111, C08009, doi:08010.01029/02005JC003267.

Martinez Cubillo, A. et al., 2021. Direct effects of climate change on productivity of European aquaculture. *Aquaculture International* (2021) 29:1561–1590. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00694-6>

Marzidovšek, M., Francé, J., Podpečan, V., Vadnjal, S., Dolenc, J. and Mozetič, P. (2024) Explainable machine learning for predicting diarrhetic shellfish poisoning events in the Adriatic Sea using long-term monitoring data. *Harmful Algae* 139, 102728.

Mijošek Pavin. T., Kračun Kolarević, M., Kolarević, S., Simčič, T., Martinović, R., Bajt, O., Kalčíková, G., Ramšak, A. (2026). Multilevel toxicity assessment of polypropilene microplastics and pyrene on mussels: DNA damage, oxidative stress and physiological effects. *Marine Pollution Bulletin* 222, 118880

Miller, M. E., Hamann, M., Kroon, F. J. (2020). Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: A review and meta-analysis of current data. *PLoS One*, 15(10), e0240792.

Mitrić, M., Ramšak, A. 2021. Sampling Site Specific Biomarker Responses in Mediterranean Mussels from the Adriatic Sea. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 106: 310–317. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-03083-6>

Mozetič, P., Cangini, M., Francé, J., Bastianini, M., Bernardi Aubry, F., Bužančić, M., Cabrini, M., Cerino, F., Čalić, M., D'Adamo, R., Drakulović, D., Finotto, S., Fornasaro, D., Grilli, F., Kraus, R., Kužat, N., Marić Pfannkuchen, D., Ninčević Gladan, Ž., Pompei, M., Rotter, A., Servadei, I. and Skejić, S. (2019) Phytoplankton diversity in Adriatic ports: Lessons from the port baseline survey for the management of harmful algal species. *Marine Pollution Bulletin* 147, 117-132.

Mozetič, P., France, J., Kogovšek, T., Talaber, I. and Malej, A. (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, 138-148.

Mozetič, P., Solidoro, C., Cossarini, G., Socal, G., Precali, R., France, J., Bianchi, F., De Vittor, C., Smodlaka, N. and Fonda Umani, S. (2010) Recent trends towards oligotrophication of the northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series. *Estuaries and Coasts* 33, 362-375.

Navarro, J.M., Labarta, U., Fernández-Reiriz, M.J. and Velasco, A. (2003) Feeding behavior and differential absorption of biochemical components by the infaunal bivalve *Mulinia edulis* and the epibenthic *Mytilus chilensis* in response to changes in food regimes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 287(1), 13-35.

Oberbeckmann, S., Labrenz, M. 2020. Marine microbial assemblages on microplastics: diversity, adaptation, and role in degradation. *Ann. Rev. Mar. Sci.*, 12: 209-232. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-010633>

Orlando Bonaca, M., Flander Putrle, V., Fortič, A., Francé, J., Lipej, L., Mavrič, B., Mozetič, P., Petelin, B., Trkov, D. and Vascotto, I. (2023) Poročilo o posodobljenih bioloških lastnosti morskega okolja, kot so vrste, habitati in ekosistemi, vključno s prehranjevalnimi spleti (produktivnost, struktura pelagične in bentoške skupnosti, povezave med habitati in vrstami morskih ptic, sesalcev, plazilcev, rib in glavonožcev) : in sicer skladno z določbami Morske direktive, Sklepa 848/2017 in smernicami Evropske komisije. Zaključno poročilo, p. 629, Morska biološka postaja Piran, Nacionalni inštitut za biologijo, Piran.

Orlando Bonaca, M., Francé, J., Lipej, L., Mavrič, B. and Mozetič, P. (2019) Strokovne podlage za posodobitev začetne presoje stanja morskega okolja skladno z Direktivo o morski strategiji 2008/56/ES, zadnjič spremenjeno 17. maja 2017 – biološki elementi in elementi povezani z njimi. A. Priprava strokovne podlage za posodobitev vsebin za opis stanja morskega okolja. Zaključno poročilo, p. 365, Morska biološka postaja Piran, Nacionalni Inštitut za Biologijo, Piran.

Pastor, F., Valiente, J.A. and Palau, J.L. (2018) Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982–2016). *Pure and Applied Geophysics* 175(11), 4017-4029.

Penna, A., Casabianca, S., Perini, F., Bastianini, M., Riccardi, E., Pigozzi, S. and Scardi, M. (2013) Toxic *Pseudo-nitzschia* spp. in the northwestern Adriatic Sea: characterization of species

composition by genetic and molecular quantitative analyses. *Journal of Plankton Research* 35(2), 352-366.

Philippart, C.J., Anadón, R., Danovaro, R., Dippner, J.W., Drinkwater, K.F., Hawkins, S.J., Oguz, T. et al. 2011. Impacts of climate change on European marine ecosystems: observations, expectations and indicators. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 400: 52–69.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.023>

Phuong, N.N., Poiriera, L., Phamb, Q.T., Lagarde, F., Zalouk-Vergnoux, A. 2018. Factors influencing the microplastic contamination of bivalves from the French Atlantic coast: location, season and/or mode of life? *Mar. Pollut. Bull.* 129: 664–674.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.054>

Pistocchi, R., Guerrini, F., Pezolesi, L., Riccardi, M., Vanucci, S., Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Forino, M., Fattorusso, E., Tartaglione, L., Milandri, A., Pompei, M., Cangini, M., Pigozzi, S. and Riccardi, E. (2012) Toxin Levels and Profiles in Microalgae from the North-Western Adriatic Sea—15 Years of Studies on Cultured Species. *Marine Drugs* 10(1), 140.

Reid GK, Gurney-Smith HJ, Flaherty M, Garber AF, Forster I, Brewer-Dalton K, Knowler D, Marcogliese DJ, Chopin T, Moccia RD, Smith CT (2019) Climate change and aquaculture: considering adaptation potential. *Aquac Environ Interact* 11:603–624.
<https://doi.org/10.3354/aei00332>

Renzi, M., Guerranti, C., Blašković, A. 2018. Microplastic contents from maricultured and natural mussels. *Mar. Pollut. Bull.* 131: 248–251.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.035>

Rodionov, S.N. (2004) A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters* 31, L09204.

Savonitto, G., Comici, C., Lanzoni, A., Bussani, A., Brunetti, F. and Gerin, R. (2025) Updated insights into the Isonzo River (NE Italy) flow rate in the 1998-2022 period. *Bulletin of Geophysics and Oceanography* 66(3), 317-330.

Senathirajah, K., Pattiaratchi, C. (2025): Microplastics in bays: Transport processes and numerical models. *Science of The Total Environment*, Vol. 993.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179995>

Sidari, L., Nichetto, P., Čok, S., Sosa, S., Tubaro, A., Honsell, G. and Della Loggia, R. (1998) Phytoplankton selection by mussels, and diarrhetic shellfish poisoning. *Marine Biology* 131, 103-111.

Tinta, T., Vojvoda, J., Mozetič, P., Talaber, I., Vodopivec, M., Malfatti, F. and Turk, V. (2015) Bacterial community shift is induced by dynamic environmental parameters in a changing coastal ecosystem (northern Adriatic, northeastern Mediterranean Sea) – a 2-year time-series study. *Environmental Microbiology* 17(10), 3581-3596.

Tintore et al., 2019. Challenges for Sustained Observing and Forecasting Systems in the Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 6, 568. doi: 10.3389/fmars.2019.00568

Turk Dermastia, T., Dall'Ara, S., Dolenc, J. and Mozetič, P. (2022) Toxicity of the Diatom Genus *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae): Insights from Toxicity Tests and Genetic Screening in the Northern Adriatic Sea.

Tsangaris, C., Moschino, V., Stroglyoudi, E., Coatu, V., Ramšak, A., Abu, A.R., Carvalho, S. et al. 2016. Biochemical biomarker responses to pollution in selected sentinel organisms across the Eastern Mediterranean and the Black Sea. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23: 1789–1804. 10.1007/s11356-015-5410-x

Tseng, Z.E., Wu, Y., Menemenlis, D., Wang, G., Ruf, C., Pan, Y. (2024): Distribution of plastics of various sizes and densities in the global ocean from a 3D Eulerian model. *Atmospheric and Oceanic Physics*, APS-DFD 77th annual meeting, Cornell University. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.14335>

Vascotto, I., Mozetič, P. and Francé, J. (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.

Vilibić, I., Zemunik, P., Šepić, J., Dunić, N., Marzouk, O., Mihanović, H., Denamiel, C., Precali, R. and Djakovac, T. (2019) Present climate trends and variability in thermohaline properties of the northern Adriatic shelf. *Ocean Science* 15(5), 1351-1362.

von Schuckmann, K., Le Traon, P.-Y., Smith, N., Pascual, A., Djavidnia, S., Gattuso, J.-P., Grégoire, M., Aaboe, S., Alari, V., Alexander, B.E., Alonso-Martirena, A., Aydogdu, A., Azzopardi, J., Bajo, M., Barbariol, F., Batistić, M., Behrens, A., Ismail, S.B., Benetazzo, A., Bitetto, I., Borghini, M., Bray, L., Capet, A., Carlucci, R., Chatterjee, S., Chiggiato, J., Ciliberti, S., Cipriano, G., Clementi, E., Cochran, P., Cossarini, G., D'Andrea, L., Davison, S., Down, E., Drago, A., Druon, J.-N., Engelhard, G., Federico, I., Garić, R., Gauci, A., Gerin, R., Geyer, G., Giesen, R., Good, S., Graham, R., Grégoire, M., Greiner, E., Gundersen, K., Hélaouët, P., Hendricks, S., Heymans, J.J., Holt, J., Hure, M., Juza, M., Kassis, D., Kellett, P., Knol-Kauffman, M., Kountouris, P., Kōuts, M., Lagemaat, P., Lavergne, T., Legeais, J.-F., Traon, P.-Y.L., Libralato, S., Lien, V.S., Lima, L., Lind, S., Liu, Y., Macías, D., Maljutenko, I., Mangin, A., Männik, A., Marinova, V., Martellucci, R., Masnadi, F., Mauri, E., Mayer, M., Menna, M., Meulders, C., Møgsther, J.S., Monier, M., Mork, K.A., Müller, M., Nilsen, J.E.Ø., Notarstefano, G., Oviedo, J.L., Palerm, C., Palialexis, A., Panzeri, D., Pardo, S., Peneva, E., Pezzutto, P., Pirro, A., Platt, T., Poulain, P.-M., Prieto, L., Querin, S., Rabenstein, L., Raj, R.P., Raudsepp, U., Reale, M., Renshaw, R., Ricchi, A., Ricker, R., Rikka, S., Ruiz, J., Russo, T., Sanchez, J., Santoleri, R., Sathyendranath, S., Scarcella, G., Schroeder, K., Sparnocchia, S., Spedicato, M.T., Stanev, E., Staneva, J., Stocker, A., Stoffelen, A., Teruzzi, A., Townhill, B., Uiboupin, R., Valcheva, N., Vandenbulcke, L., Vindenes, H., Schuckmann, K.v., Vrgoč, N., Wakelin, S. and Zupa, W. (2021) Copernicus Marine Service Ocean State Report, Issue 5. *Journal of Operational Oceanography* 14(sup1), 1-185.

Zhao, S., Kvale, K. F., Zhu, L., Zettler, E. R., Egger, M., Mincer, T. J., ... & Stubbins, A. (2025). The distribution of subsurface microplastics in the ocean. *Nature*, 641(8061), 51-61.

Zhang, H. (2017): Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 199. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.032>

Zhang, Q., Cozzi, S., Palinkas, C. and Giani, M. (2020) Coastal Ecosystems in Transition. Malone, T.C., Malej, A. and Faganeli, J. (eds), pp. 7-19.

Zhang, K., Liang, J., Liu, T., Li, Q., Zhu, M., Zheng, S., Sun, X. 2022. Abundance and characteristics of microplastics in shellfish from Jiaozhou Bay, China. *J. Ocean. Limnol.* 40: 163–172. <https://doi.org/10.1007/s00343-021-0465-7>

Wakkaf, T., El Zrelli, R., Kedzierski, M., Balti, R., Shaiek, M., Mansour, L., Tlig-Zouari, S. et al. 2020. Microplastics in edible mussels from a southern Mediterranean lagoon: preliminary results on seawater-mussel transfer and implications for environmental protection and seafood safety. *Mar Pollut. Bull.* 158, 111355. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111355>

Weatherdon LV, Magnan AK, Rogers AD, Sumaila UR, CheungWWL (2016) Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries, aquaculture, coastal tourism, and human health: an update. *Front Mar Sci* 3:48. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00048>

Priloga 1 Diseminacija

V okviru diseminacije projekta in projektnih rezultatov smo postavili spletno stran projekta, problematiko projekta in rezultate smo predstavili širši javnosti preko intervjujev, delavnic, predstavitev na različnih dogodkih in socialnih omrežij. Nekaj rezultatov projekta smo že objavili v znanstvenih člankih in na znanstvenih konferencah. Celotno vsebino projekta in različne vidike školjkarstva v slovenskem morju želimo predstaviti v monografiji v slovenskem jeziku.

Tematika projekta je za širšo javnost zelo zanimiva saj je povezana s pridelavo hrane in podnebnimi spremembami, ki vplivajo na gojitev školjk ter mikroplastiko na školjčiščih. Potrošniki školjke vključujejo v jedilnike kot delikateso in sodoben ozaveščen potrošnik želi dobiti čimveč informacij o hrani. Ljudje želijo biti vse bolj ozaveščeni o okolju in potrebujejo relevantne informacije, ki jih lahko usmerijo k spremembi vedenja. Mikroplastika v organizmih, ki se uporabljajo za prehrano, je tako ena izmed tematik, za katero se javnost zelo zanima. Z raziskovanjem mikroplastike v školjkah in objavami izsledkov raziskave v različnih vrstah medijev, bomo ključno vplivali na ozaveščanje javnosti na tem področju in prispevali k bolj trajnostnemu razmišljanju in ravnanju družbe kot posameznika. Dejstvo je namreč, da gospodinjstva in ravnanje vsakega posameznika, ključno prispevajo k onesnaževanju voda z mikroplastiko.

Rezultati diseminacije projekta in projektnih rezultatov

V okviru DS5 so bile pripravljene vsebine za objavo na spletni strani in aktivirane povezave do vsebin projekta na spletnih straneh obeh projektnih partnerjev NIB <https://www.nib.si/projektinib?view=projects&depid=7&catid=4> in na oddelka Morska biološka postaja Piran <https://www.nib.si/mbp/sl/projects/92-mkgrp/1116-vpliv-okoljskega-stresa-na-zdravje-in-prirastek-skoljk-ter-izboljsave-vzrejnih-praks-zaradi-mikroplastike-in-podnebnih-sprememb> ter na spletni strani IZVRS <http://www.izvrs.si/storitve-2/aplikativne-raziskave-in-resitve/>.

Znanstveni članek

1. RAMŠAK, Andreja, BIZJAK, Tine, ROBIČ, Uroš, KOVAČ VIRŠEK, Manca. The need for innovations to secure the future of artisanal mussel farming in the coastal sea of the Gulf of Trieste (Slovenia). *Aquaculture reports*. Jun. 2024, vol. 36, [art. no.] 102166, str. [1]-9, ilustr. ISSN 2352-5134. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102166>, DiRROS - Digitalni repozitorij raziskovalnih organizacij Slovenije, DOI: [10.1016/j.aqrep.2024.102166](https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102166). [COBISS.SI-ID [197551619](https://www.cobiss.si/urn:nbn:si:coibiss:SI-ID-197551619)], dostopen prosto dostopni obliki CC BY-NC-ND

OPIS VSEBINE

Školjkarstvo se je začelo v zgodnjih 70-tih letih z gojitvijo klapavic, danes pa vključuje še v manjši meri gojenje ladink in ostrig. Aktivno se s školjarstvom ukvarjajo štirje školjarji in gre za družinska podjetja, eden ima status ribiča in školjarja. Trije večji školjarji imajo tudi tehnologijo za pobiranje in čiščenje školjk na večjih plovilih. Školjke prodajajo v glavnem v Sloveniji, in tudi v Italiji, Hrvaškem in v Franciji. Do leta 2019 je gojitev naraščala, nato je strmo

upadlo. Glavni razlogi, ki so ovirali razvoj školjkarstva so bili omejena območja za školjčišča, cvetenja škodljivih alg, medtem ko so od leta 2023 glavni vzroki plenjenje orad in ploskih črvov ter visoke poletne temperature morske vode, ki presegajo optimalne temperature za rast. Školjkarji se soočajo tudi z veliko administrativnega dela, pogrešajo investicije in svetovanje ter ukrepanje, da bi rešili težave. Del rešitev vidijo v premestitvi školjčišč na bolj oddaljene lokacije, ki so bile predvidene kot možne lokacije. Kot prednosti navajajo dobro sodelovanje z različnimi institucijami, dobro prodajo, kratko oskrbno verigo.

2. ZIDAR, Živa, KOVAČ VIRŠEK, Manca, KLANČNIK, Anja, JANECKO, Nicol. Microbial communities on microplastics from seawater and mussels: Insights from the northern Adriatic Sea. *Science of the total environment*. Nov. 2024, vol. 949, [article no.] 175130, str. 1-7, ilustr. ISSN 0048-9697. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972405280X?via%3Dihub>, Repozitorij Univerze v Ljubljani – RUL, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2024.175130](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175130). [COBISS.SI-ID 204455171]

Z mikroplastike izolirane na školjčiščih (iz vodnega stolpca in iz klapavic) je bila izolirana DNK mikrobnega filma za metagenomiko. V morskem vodnem stolpcu je bilo najdenih 12,7 mikroplastike na m³ in 0,58 mikroplastike na posamezno školjko. V vseh vzorcih so bili identificirani rodovi *Pseudomonas* in *Serratia*. V enem od vzorcev je bil najbolj pogost morski rod *Pseudoalteromonas*, v drugem vzorcu pa je bil prisoten *Campylobacter* z več kot 30-odstotno pogostostjo. Mikrobiomi delcev, izoliranih iz školjk in morske vode, so bili podobni, kar kaže na skupen vzorec mikrobne kolonizacije, ki lahko vpliva na prenos mikroplastičnih mikroorganizmov, vključno s potencialnimi patogeni, prek prehranske verige do potrošnikov. Onesnaževanje z mikroplastiko je zapleteno vprašanje, ki zahteva nadaljnje raziskave, zlasti v zvezi z mikrobnimi biofilmi, kolonizacijo patogenov in potencialom prenosa patogenov prek mikroplastičnih delcev. Naše ugotovitve izboljšujejo razumevanje onesnaženja z mikroplastiko v Jadranskem morju in poudarjajo nujnost celovitih strategij za zmanjšanje vpliva na morske ekosisteme. V članku je bila prvič opisana mikrobna združba z mikroplastike izolirane iz školjke.

3. Člani projektne skupine (A. Ramšak, J. France, P. Mozetič, M. Kovač Viršek, T. Bizjak) so pripravili osnutek za pisanje monografije v slovenskem jeziku z delovnim naslovom »Školjkarstvo v slovenskem morju«. Monografija bo posvečena opisu školjkarstva v slovenskem morju, opis morskega okolja in njegove biološke značilnosti, onesnaženje, opisali biologijo in fiziologijo školjk, odziv na klimatske spremembe ter onesnaženje, zdravstveno stanje školjk ter kot dodatek opis postopkov, ki omogočajo spremljanje rasti in dozorevanja školjk in so zanesljivi ter enostavni za izvedbo.

Udeležba na konferencah in okroglih mizah

1. Dne 17. 11. 2022 je na Morski biološki postaji v Piranu potekala okrogla miza z naslovom »Dobre prakse povezovanja ribištva in varovanja morja« na kateri je bil kot diskutant član projektne skupine Uroš Robič (IZVRS), ki je predstavil problematiko plastike in mikroplastike v ribištvu in akvakulturi. Okroglo mizo je moderirala dr. Andreja Ramšak. Okrogla mize je bila organizirana v okviru projekta Dobro za morje-Dobro zame (akcija osveščanja LAS Istre).

Namen okrogle mize je bil predstaviti pobude in projekte, ki prikazujejo dobre prakse in spodbujajo inovacije v ribiškem sektorju.

LIPEJ, Lovrenc (diskutant), MAKOVEC, Samanta (diskutant), MARČETA, Bojan (diskutant), PENCA, Jerneja (diskutant), ROBIČ, Jure (diskutant), RAMŠAK, Andreja (oseba, ki intervjuva). *Dobre prakse povezovanja ribištva in varovanja morja : Akcija osveščanja o trajnostnem ribištvu Dobro za morje – dobro zame, 17. 11. 2022 Piran, Morska biološka postaja Piran, Nacionalni inštitut za biologijo.* [COBISS.SI-ID [146027779](#)]

2. Projekt je bil predstavljen tudi na dogodku »Mikroplastika za zajtrk z Andrejo Palatinus«, ki je potekal dne 28. 3. 2023 v Ljubljani. Dogodka se je udeležila dr. Manca Kovač Viršek (IZVRS) in predstavila zastavljene cilje na projektu.

3. Člani projektne skupine (A. Ramšak, M. Kovač Viršek, M. Grego, T. Bizjak) so sodelovali na srečanju Posvet o mikroplastiki, dne 14. 11. 2023, ki je potekal na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani.

5. Dr. Patricija Mozetič je imela na konferenci 8th European Phycological Congress <https://www-iuem.univ-brest.fr/epc-2023/?lang=en>, Brest, Francija, 20.8. – 26. 8. 2023 predavanje z naslovom »How the ongoing oligotrophication of the northern Adriatic affects phytoplankton community structure and functioning«, kjer je opisovala tudi dinamiko fizikalno-kemijskih parametrov, pretokov rek in klorofila, kar je sodi v sklop DS1.1 Analiza fizikalnih in kemičnih parametrov v slovenskem morju.

MOZETIČ, Patricija, PETELIN, Boris, FLANDER-PUTRLE, Vesna, SLAVINEC, Petra, VASCOTTO, Ivano, FRANCÉ, Janja. How the ongoing oligotrophication of the northern Adriatic affects phytoplankton community structure and functioning. V: CONNAN, Solène (ur.). *Scientific opportunities for a global algal revolution : program and book of abstracts : 8th European Phycological Congress - EPC8 : August 20th to 26th 2023 - Brest, Brittany, France.* S. l.: FEPS, Federation of European Phycological Societies: Société Phycologique de France, [2023]. Str. 164-165. https://epc8.sciencesconf.org/data/pages/EPC8_BOOK_of_ABSTRACTS_2.pdf. [COBISS.SI-ID [179772931](#)]

6. Dr. Manca Kovač Viršek je predstavila tudi na dogodku »Eno zdravje«, ki je potekal dne 5. 12. 2023 na Veterinarski fakulteti v Ljubljani.

7. Vabljen predavanje na konferenci

International Conference "Adriatic Biodiversity Protection - AdriBioPro 2024"

RAMŠAK, Andreja. Mussels and mussel farming in the wind of changes. V: *Book of Abstracts : International Conference "Adriatic Biodiversity Protection - AdriBioPro 2024", 01-04 October 2024, Kotor, Montenegro.* Kotor: Institute of Marine Biology, University of Montenegro, 2024. Str. 64. ISBN 978-9940-9613-4-3. <https://zenodo.org/records/13854380>. [COBISS.SI-ID [213818883](#)]

8. Dne 5. 3. 2025 je bil na Morski biološki postaji v Piranu organiziran posvet »Morje nas povezuje, Varovanje slovenskega morja in ekosistemske storitve«, ki ga je organizirala in povezovala Patricija Mozetič. Dogodek je potekal v okviru Dnevi pomorstva 2025, kjer je Andreja Ramšak predstavila problematiko in rezultate projekta v predavanju z naslovom »Školjkarstvo – ogrožena ekosistemska storitev«, Janja France je imela predavanje »Spremembe v planktonskih združbah in vpliv na školjkarstvo«, Manca Kovač Viršek je predstavila rezultate analiz mikroplastike v školjčičih v predavanju z naslovom »Prisotnost mikroplastike na gojišču školjk v Piranskem zalivu«. Predavatelji so tudi sodelovali v diskusiji, ki je sledila predavanjem, dogodek je bil dobro obiskan. Patricija Mozetič je sodelovala tudi na okrogli mizi dne 6. 3. 2025, ki je bila organizirana v sklopu Dnevi pomorstva 2025 pod pokroviteljstvom Ministrstva za infrastrukturo.

MOZETIČ, Patricija. *Uvod v dogodek »Morje nas povezuje« : predavanje na strokovnem posvetu z naslovom »Varovanje slovenskega morja in ekosistemske storitve« v okviru Dnevo pomorstva, Morska biološka postaja NIB, 5. marec 2025, Piran.* <https://www.nib.si/aktualno/novice/1910-morje-nas-povezuje-dnevi-pomorstva-2025>. [COBISS.SI-ID [239861507](#)]

RAMŠAK, Andreja. *Školjkarstvo – ogrožena ekosistemska storitev : predavanje na strokovnem posvetu z naslovom »Varovanje slovenskega morja in ekosistemske storitve« v okviru Dnevo pomorstva, Morska biološka postaja NIB, 5. marec 2025, Piran.* <https://www.nib.si/aktualno/novice/1910-morje-nas-povezuje-dnevi-pomorstva-2025>. [COBISS.SI-ID [234068995](#)]

FRANCÉ, Janja. *Spremembe v planktonskih združbah in vpliv na školjkarstvo : predavanje na strokovnem posvetu z naslovom »Varovanje slovenskega morja in ekosistemske storitve« v okviru Dnevo pomorstva, Morska biološka postaja NIB, 5. marec 2025, Piran.* <https://www.nib.si/aktualno/novice/1910-morje-nas-povezuje-dnevi-pomorstva-2025>. [COBISS.SI-ID [233318915](#)]

KOVAČ VIRŠEK, Manca. *Prisotnost mikroplastike na gojišču školjk v Piranskem zalivu : predavanje na strokovnem posvetu z naslovom »Varovanje slovenskega morja in ekosistemske storitve« v okviru Dnevo pomorstva, Morska biološka postaja NIB, 5. marec 2025, Piran.* <https://www.nib.si/aktualno/novice/1910-morje-nas-povezuje-dnevi-pomorstva-2025>. [COBISS.SI-ID [234069507](#)]

9. Na konferenci *2nd International Scientific Symposium Interdisciplinary Approach to the Scientific Research of the Adriatic Sea, InspireAdriatic 2025* smo na posterju predstavili kakšen je vpliv mikroplastike in pirena na klapavice.

MIJOŠEK PAVIN, Tatjana, KOLAREVIĆ, Stoimir, KRAČUN-KOLAREVIĆ, Margareta, SIMČIČ, Tatjana, MARTINOVIĆ, Rajko, KOVAČ VIRŠEK, Manca, BAJT, Oliver, RAMŠAK, Andreja. *Biological responses of mussels after exposure to environmentally relevant polypropylene and pyrene concentrations: a multi-biomarker approach.* V: SVILIČIĆ PETRIĆ, Ines (ur.). *2nd International Scientific Symposium Interdisciplinary Approach to the Scientific Research of the*

Adriatic Sea, InspireAdriatic 2025 : Zagreb, 19–20 May 2025 : book of abstracts. 2nd International Scientific Symposium Interdisciplinary Approach to the Scientific Research of the Adriatic Sea, InspireAdriatic 2025, Zagreb, 19–20 May 2025. Zagreb: Ruđer Bošković Institute, 2025. Str. 33. ISBN 978-953-7941-57-4. <https://inspireadriatic2025.hr/Abstract%20book%20InspireAdriatic%202025.pdf>. [COBISS.SI-ID [238619395](#)]

9. V soavtorstvu (Andreja Ramšak (NIB), Jacob J. Capelle (Wageningen University & Research -Wageningen Marine Research), Brad Skelton (Institute of Marine Science, University of Auckland) smo pripravili izveček za predavanje na 58th EMBS konferenci (6. – 9. 7. 2025, Bodo), kjer je Andreja Ramšak predstavila značilnosti in težave školjkarstva v Novi Zelandiji, Nizozemskem in v Sloveniji.

RAMŠAK, Andreja, CAPELLE, Jacob J., SKELTON, Brad. Mussel culture – an ecosystem service under threat. V: *EMBS Symposium : 58th EMBS, European Marine Biology Symposium, Bodø, July 6-9, 2025. 58th EMBS, European Marine Biology Symposium, Bodø, Norway, July 6-9, 2025. Bodø: Nord University, 2025. Str. 37. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16792617>. [COBISS.SI-ID [254301699](#)]*

Pedagoško delo

1. V projektno delo so bili vključeni tudi študentje magistrskega študija Varstvo narave z Univerze na Primorskem: Vanja Modrušan (zaključila magistrski študij Varstvo narave), Lija Skomina (zaključila diplomski študij Sredozemsko kmetijstvo), Daša Jovanović (v teku diplomski študij Varstvo narave), ERAZMUS štipendisti (3 mesece): Yorinde van Berg, Van Hall Larenstein University, Nizozemska (diplomsko delo), Alessandro Giorgio, Berufskolleg Hilden, Nemčija, Jannis Hagenbuch, Berufskolleg Hilden, Nemčija, gostujoča raziskovalka dr. Tatjana Mijošek Pavin, Inštitu Ruđer Bošković, Hrvaška ki je na enoletnem izpopolnjevanju, njena gostiteljica je dr. Andreja Ramšak.

MODRUŠAN, Vanja. Seasonal changes in oxidative stress biomarkers (SOD and TBARS) in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) from mussel farm : master's thesis = Sezonske spremembe biomarkerjev oksidativnega stresa (SOD in TBARS) v sredozemski klapavici (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) iz školjčičišča : magistrsko delo. Koper: [V. Modrušan], 2025. 1 spletni vir (1 datoteka PDF (XI, 62 str., [6] str. pril.)), ilustr. Repozitorij Univerze na Primorskem - RUP. [COBISS.SI-ID 247961859], mentorica Andreja Ramšak in somentorica Tatjana Mijošek Pavin

Lija Skomina. Perspektive školjkarstva v svetu in v Slovenskem obalnem morju. Zaključni seminar, 2025. UP FAMNIT, mentor: Andreja Ramšak

SKOMINA, Lija. *Perspektive školjkarstva v slovenskem obalnem morju : zaključni seminar = Lija Skomina*. Koper: [L. Skomina], 2025. 1 spletni vir (1 datoteka PDF (32 str.)), ilustr. [Repozitorij Univerze na Primorskem - RUP](#). [COBISS.SI-ID [259057923](#)]

2. Vsebine iz projekta so bile predstavljene tudi študentom programa Sredozemsko kmetijstvo na Univerzi na Primorskem, v študijskih letih 2022/2023 in 2024/2025 pri predmetu Ribištvo (izvajalec doc. dr. Andreja Ramšak).

3. Vabljeni predavanja za študente Univerze v Novi Gorici

RAMŠAK, Andreja. *Biodiverziteteta v spreminjajočem se oceanu = Biodiversity in a changing ocean : vabljeni predavanja na Fakulteti za znanost o okolju, Univerza v Novi Gorici, Vipava, 6. 4. 2022.* [COBISS.SI-ID [105585155](#)]

4. Vsebine projekta so bile predstavljene na tematskem dnevu 20. 4. 2023 študentom Fakultete za varstvo okolja Velenje, kjer je o problematiki predavala dr. Andreja Ramšak.

5. Andreja Ramšak je tematiko iz projekta predstavila študentom magistrskega študija Varstvo okolja in ekotehnologije, na Fakulteti za varstvo okolja v Velenju (2 šolski uri predavanja Onesnaževanje morja pri predmetu Boindikacija in biomonitoring), dne 23. 1. 2025.

6. Dnevu odprtih vrat MBP ob Svetovnem dnevu oceanov na delavnici o školjkah, ki je potekala dne 9. 6. 2023, 7.6.2024 in 6. 6. 2025 na MBP. Udeleženci so bili učenci osnovnih in srednjih šol ter iz mednarodne gimnazije iz Ljubljane.

KOBAL, Tanja, MUHIČ, Živa, RAMŠAK, Andreja. *Spoznajmo školjke : delavnica na Dnevu odprtih vrat Morske biološke postaje Piran Nacionalnega inštituta za biologijo, 7. 6. 2024.* https://www.nib.si/mbp/images/images/unescoMBP/DOV_2024/Vabilo_2024-slo.pdf. [COBISS.SI-ID [213820675](#)]

7. Predavanja za študente Biotehniške fakultete

RAMŠAK, Andreja. Antropogeni vplivi na združbe v morju. V: KOBAL, Tanja (ur.). *Projekt: Zemlja : Poletna šola Biotehniške fakultete : zbornik : 25. september - 28. september 2023.* Elektronska izd. Ljubljana: Biotehniška fakulteta: Študentski svet Biotehniške fakultete, 2023. Str. 33-34. ISBN 978-961-6379-86-1. <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=176656&lang=slv>. [COBISS.SI-ID [169158915](#)]

8. Udeležili smo se akcije Čista obala v letih 2024 (13. 9. 2024), 2025 (20. 9. 2025), kjer smo imeli stojnico in praktični prikaz školjk, načina gojitve in problematike mikroplastike. Udeleženci so si lahko ogledali tudi različne vrste mikroplastike, delavnico sta vodili M. Kovač Viršek, A. Ramšak.

Sodelovanja

1. Andreja Ramšak je sodelovala na sestankih AQUAWEST Technical Group 2. 5. 2023 od 10. do 11. ure, kjer so bile predstavljene aktivnosti držav v zahodnem Sredozemlju (EU in

severnoafriške države) na področju akvakulture. Sestanek je bil predstavitvene narave in hkrati v sklopu priprave COST projekta, katerega tematika je namenjena akvakulturi in izzivom v tej dejavnosti, projektni predlog je bil oddan v oktobru 2023, a žal ni bil izbran za financiranje.

2. Članek »The need for innovations to secure the future of artisanal mussel farming in the coastal sea of the Gulf of Trieste (Slovenia)«. *Aquaculture reports*. Jun. 2024, je dosegel tarčno publiko in na osnovi tega članka se nam je javil dr. Brad Skelton z University of Auckland, strokovnjak za školjkarstvo, ki ga zanima problematika slovenskega školjkarstva in vzporednice z njihovim školjkarstvom, v obeh državah so nekatere problematike, ki so skupne in to so plenilske ribe, ki plenijo školjke, in škoda, ki jo povzročajo plenilski ploski črvi ter pomanjkanje mladice za gojitev. Dr. Brad Skelton nas je obiskal od 9. 9. do 13.9. 2024, organizirali smo predavanje po Zoomu in ogled školjčišča v Seči v okviru rednega vzorčenja v tem projektu. Pripravil je predavanje o školjkarstvu na Novi Zelandiji z naslovom »Greenshell mussel farming in New Zealand - challenges and opportunities«. Nato smo skuaj pripravili še prispevek za konferenco 58th EMBS v Bodo (julij 2025), skupaj pripravljamo pregledni članek.

3. Dr. Lorena Perić, Laboratorij za akvakulturo, Institut Ruđer Bošković, Hrvaška; sodelovanje pri identifikaciji ploskih črvov, ki plenijo školjke.

4. Navezali smo tudi kontakt z raziskovalcem Jose Babarro, CSIC iz Španije, ki je vrhunski strokovnjak za klapavice in še posebej za mehaniko bisusnih niti, ki nam je dal dragocene napotke za vzorčenje in laboratorijsko delo. Izkušnje smo izmenjali preko video konference 21. 3. 2023.

Intervjuji

MAVRIČ, Borut, RAMŠAK, Andreja, MOZETIČ, Patricija, KOVAČ VIRŠEK, Manca. *Morje nam obrača hrbet : prispevek v oddaji Primorska kronika, TV Koper/Capodistria, 5. 3. 2025*. Primorska kronika. <https://365.rtv slo.si/arhiv/primorska-kronika/175114252>. [COBISS.SI-ID 231785731]

Podnebne priče: Dr. Andreja Ramšak: Školjkarstvo je na robu preživetja. 18. 10.2025 Večer, <https://vecer.com/v-soboto/podnebne-price-dr-andreja-ramsak-skoljkarstvo-je-na-robu-prezivetja-10394968>

Socialna omrežja

Na FB profilu NIB smo objavili notice o projektu in vzorčenju namenjeno splošni javnosti.



Slika 9. Objava na FB o vzorčenju- vzorčno mesto.



Slika 10. Objava na FB o vzorčenju-priprava klapavic.