ALTERNATOR
Misliti znanost.

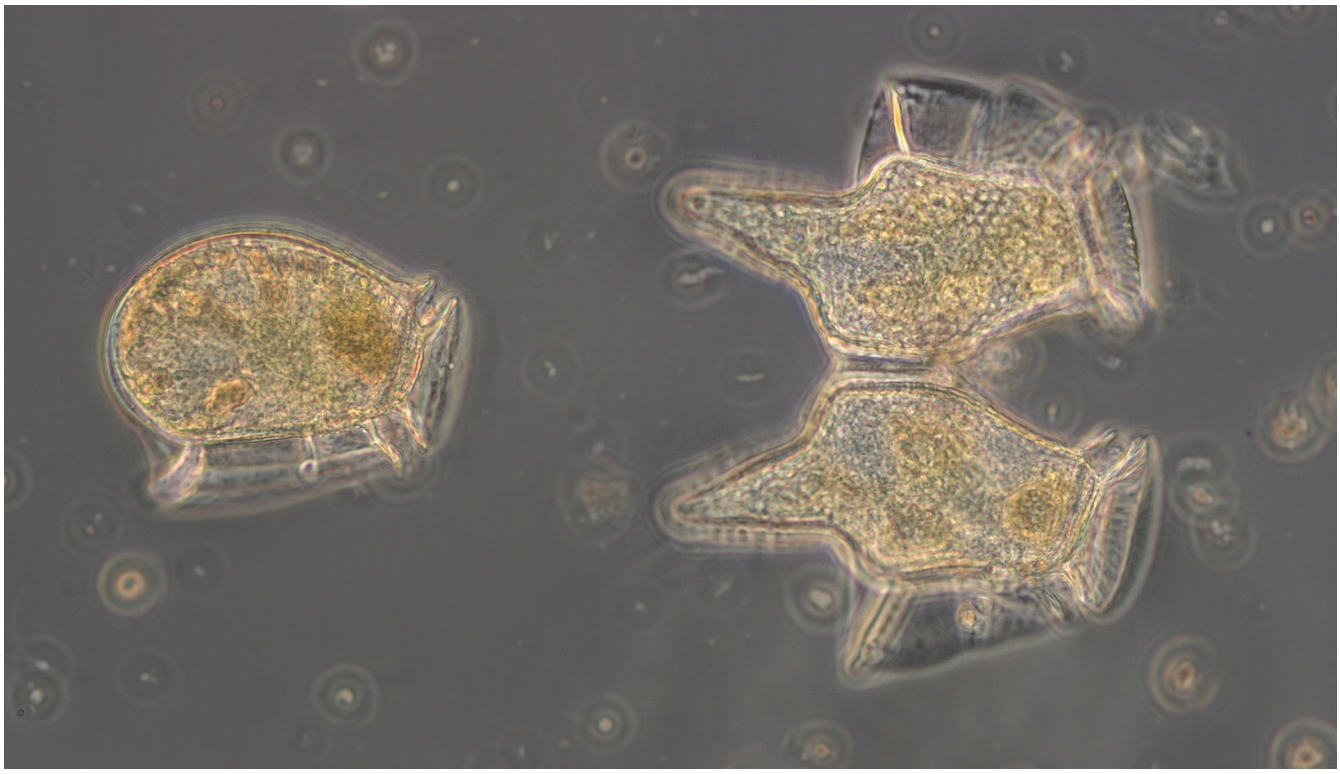
Škodljiva cvetenja alg – na sledi sprememb v slovenskem morju

16. 4. 2020

Number: 17/2020

Author:

- Janja Francé



Dinoflagelata, ki povzročata diarejogeno zastrupitev s školjkami, levo: Dinophysis fortii, desno: Dinophysis caudata (par celic po delitvi)

Nedavno so po družbenih omrežjih zaokrožile fotografije Blejskega jezera, ki se je v celoti obarvalo v intenzivno škrlatno zaradi prekomerne razrasti cianobakterije *Planktothrix rubescens*. Vzrok za to je prekomerno in vse bolj intenzivno preobremenjevanje jezera s hranilnimi snovmi, ki jih v svoj prid za hitro rast izkoriščajo mikroalge. Dogajanje na Blejskem jezeru uvrščamo med množico različnih pojavov, ki jim strokovno pravimo *škodljiva cvetenja alg*. Škodljiva cvetenja alg se ne pojavljajo le v celinskih vodah, temveč tudi v vseh svetovnih morjih, tudi v slovenskem. Čeprav očem skrito, je bilo cvetenje nekaterih toksičnih vrst v slovenskem morju leta 2010 izjemno.

Zaradi toksinov, ki jih te vrste proizvajajo in se zaradi filtratorskega načina prehranjevanja kopičijo v školjkah, so prodajo školjk prepovedali že v drugi polovici maja, z nekaj krajšimi prekinitvami pa je prepoved trajala vse do aprila 2011 (prisotnost toksinov v školjčnem mesu so takrat še preskušali z biološkimi testi na miših). To je bila najdaljša zapora prodaje školjk v Sloveniji v zgodovini testiranj, saj običajno zapore niso daljše od dveh mesecev. V nadaljevanju bomo predstavili problem toksičnih cvetenj alg v morjih globalno in pri nas, osvetlili dogajanje leta 2010 in prikazali ekološke značilnosti nekaterih toksičnih vrst.

V svetovnem merilu so škodljiva cvetenja alg tako pomembna, da pod okriljem Unescove Medvladne oceanografske komisije deluje Medvladni odbor za škodljiva cvetenja alg. Naloge odbora so spodbujati raziskave in učinkovito upravljanje škodljivih cvetenj alg, da bi razumeli vzroke njihovega pojavljanja, razvili učinkovite modele za napovedovanje in uspešneje blažili njihove posledice.

Brez definicij seveda ne gre. Toda zatakne se že pri *algah*, kjer gre bolj za *mikroalge*, saj v veliki večini primerov škodljiva cvetenja povzročajo prav ti organizmi. Mikroalge so enocelični fotosintezni mikroorganizmi, ki živijo v celinskih in morskih ekosistemih. Uvrščamo jih v različne evolucijske skupine tako prokariontov (cianobakterije) kot evkariontov, odlikuje pa jih pestra paleta različnih morfoloških in fizioloških značilnosti. Vendar niso vsi organizmi, ki povzročajo škodljiva cvetenja, avtotrofni (to so organizmi, ki s pomočjo sončne energije vežejo ogljikov dioksid in proizvajajo organske spojine), saj nekateri energijo pridobivajo

s prehrano z drugimi organizmi (heterotrofi), spet drugi pa lahko izkoriščajo oba načina prehranjevanja (miksotrofi). Torej ima v besedni zvezi *škodljiva cvetenja alg* pojem *alge* zelo širok pomen, saj se nanaša na organizme z vsemi tremi načini prehranjevanja, ki jim je skupno to, da so škodljivi.

Tudi pojem *škodljiva* se v tej besedni zvezi uporablja precej široko, saj glede na način, kako lahko škodijo, te organizme razdelimo v pet skupin. V prvo skupino uvrščamo vrste, ki se zelo namnožijo in tvorijo masovna cvetenja. Ta velikokrat obarvajo vodo v različne barve glede na fotosintezne pigmente prevladujočih vrst – rdeče pri dinoflagelatih (http://tolweb.org/Dinoflagellates/2445) , rjavo-zeleno pri diatomejah (http://tolweb.org/Diatoms/) , zeleno pri zelenih algah. Taka cvetenja so lahko škodljiva ob odmrtju in bakterijski razgradnji mikroalg, saj pride do velike porabe kisika in do pomanjkanja le-tega, zlasti pri dnu. Lahko pa so škodljiva tudi zaradi oblik mikroalg, saj lahko poškodujejo škrge višjih vodnih organizmov.

Druga skupina škodljivih mikroalg vključuje vrste, ki proizvajajo toksine, ki se nato akumulirajo v prehranski verigi in se preko vektorskih organizmov, kot so školjke in ribe, prenesejo na človeka in povzročajo različne simptome. Nato so v tretji skupini toksične vrste, ki ljudem škodijo z neposrednim kontaktom, predvsem preko aerosolov, ki se tvorijo zaradi delovanja valov ob obalah. V četrti skupini so mikroalge, ki človeku niso nevarne, so pa toksične za morske organizme, kot so ribe in nevretenčarji. Peta skupina pa združuje vrste, pri katerih še niso odkrili škodljivih učinkov na ljudi, vendar v kulturah proizvajajo toksine. V zadnjem izčrpnem popisu škodljivih mikroalg Patrick Lassus in sodelavci (2016 (https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247767)) navajajo 174 taksonov.

Tudi v slovenskem, zlasti obmorskem, prostoru so škodljiva cvetenja alg pomembna tema, saj lahko predstavljajo grožnjo v ekonomskem in okoljskem vidiku. Cvetenj mikroalg, ki obarvajo morje, v novejšem času beležimo sicer zelo malo. Vsako leto aprila ali maja lahko opazujemo cvetenje morske iskrnice (*Noctiluca scintillans*), heterotrofne vrste dinoflagelatov, ki morje obarva opečnato rdeče. To imamo priložnost opazovati predvsem v zalivih in pristaniščih ali na odprtem morju v obliki večjih ali manjših »zaplat« in praviloma mine brez posledic za morske organizme in ljudi.

Slovenske gojitelje školjk pa najbolj skrbijo toksične vrste mikroalg, katerih strupeni produkti presnove se kopičijo v školjkah in lahko povzročajo zastrupitve – toksikoze pri ljudeh, ki se z njimi prehranjujejo. Po svetu beležimo šest različnih skupin toksikoz, med njimi so za slovensko morje pomembne tri: amnezijska (v nadaljevanju ASP (http://www.fao.org/3/y5486e/y5486e0n.htm)), paralitična (v nadaljevanju PSP (http://www.fao.org/3/y5486e/y5486e05.htm#bm05)) in diarejogena zastrupitev s školjkami (v nadaljevanju DSP (http://www.fao.org/3/y5486e/y5486e0e.htm#bm14)), saj se mikroalge, ki jih povzročajo, redno pojavljajo v našem morju. Toksikoze še zdaleč niso nedolžne, v izjemnih primerih se lahko končajo s smrtjo. Na srečo toksini, ki jih dokaj redno izmerijo v naših školjkah, spadajo v skupino DSP in sorodnih lipofilnih toksinov, ki povzročajo »le« gastrointestinalne simptome (slabost, bruhanje, driska). Ti običajno minejo hitro in brez posledic. DSP toksikozo povzročajo nekatere vrste dinoflagelatov iz pelaških rodov *Dinophysis* in *Phalacroma* ter bentoškega rodu *Prorocentrum*.

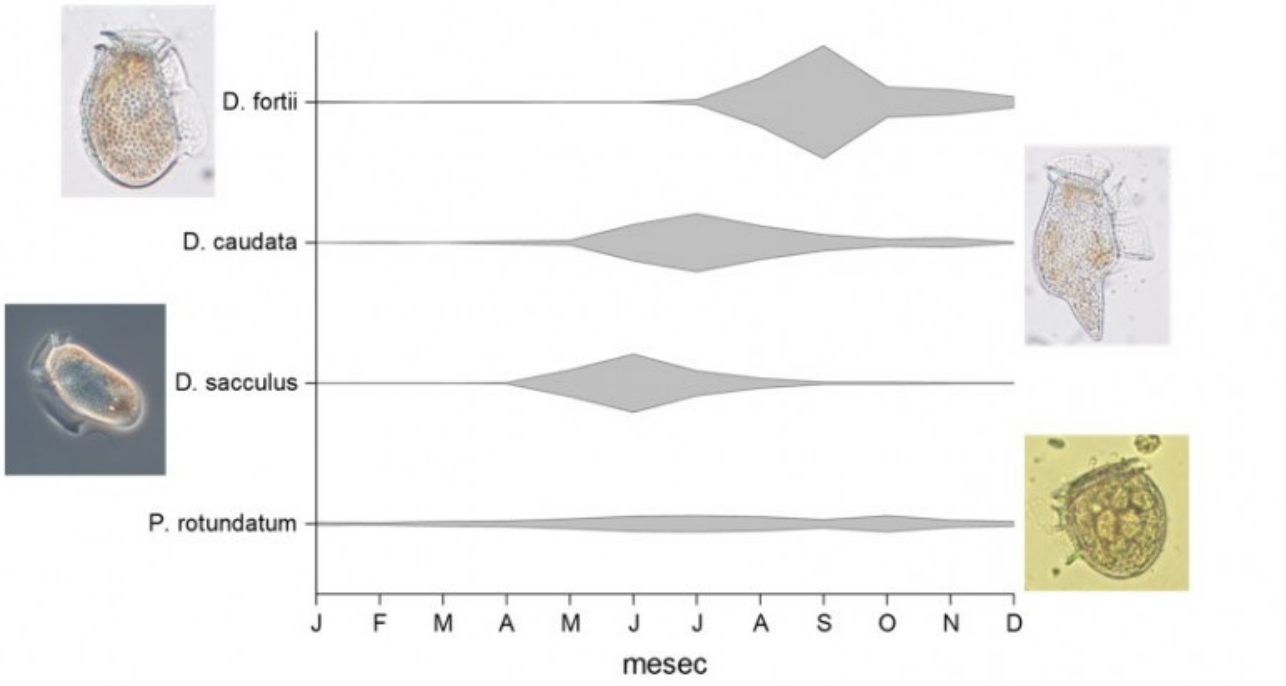
Kar nekaj izmed teh vrst najdemo tudi v slovenskem morju, ravno tako pa tudi povzročitelje PSP in ASP. PSP povzročajo nekatere vrste dinoflagelatov iz rodu *Alexandrium*, ASP pa nekatere vrste diatomej iz rodu *Pseudo-nitzschia*. Ti dve toksikozi sta veliko bolj nevarni, saj so simptomi prve paraliza mišic, tudi dihalnih, pri drugi pa nevrološki simptomi z izgubo kratkotrajnega spomina, vendar v slovenskih školjkah toksini, ki ju povzročajo, še nikoli niso presegli mejnih vrednosti.

Dinamika pojavljanja mikroalg, ki povzročajo DSP

Testiranje toksinov v školjkah v Sloveniji sega v leto 1984, toksini v školjkah pa so bili prvič odkriti leta 1989. Od takrat pristojni veterinarski organ skrbi za redno testiranje školjčnega mesa na toksine, od leta 1995 pa vzporedno poteka tudi monitoring toksičnih vrst fitoplanktona (mikroalg) na treh območjih gojišč školjk – v Piranskem zalivu, v Strunjanu in na Debelem rtiču. V okviru tega monitoringa, ki ga na Morski biološki postaji Piran Nacionalnega inštituta za biologijo izvajamo pod okriljem Uprave za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, dobimo dragocene podatke, ki jih uporabljamo za iskanje odgovora na vprašanje, kateri so tisti ekološki dejavniki, ki narekujejo pojavljanje toksičnih vrst mikroalg, njihovo sezonsko dinamiko in dolgoročne spremembe.

Do danes smo v slovenskem morju zabeležili okoli 20 vrst iz rodov *Dinophysis* in *Phalacroma*, vsaj pri polovici teh so že odkrili toksine. Analiza dinamike njihovega pojavljanja je pokazala, da jih lahko v vzorcih najdemo preko celega leta. Vendar v nasprotju z nekaterimi drugimi vrstami oziroma skupinami fitoplanktona, za katere je značilno, da se v obdobju intenzivne rasti lahko zelo namnožijo, te vrste nikoli ne dosegajo visokih abundanc. Če npr. pri diatomejah govorimo o pojavu cvetenja, potem jih lahko v enem litru morske vode preštejemo do nekaj milijonov. Pri toksičnih dinoflagelatih, kot so vrste iz rodov *Dinophysis* in *Phalacroma*, pa o »cvetenju« govorimo že, ko se namnožijo do nekaj 100 ali največ nekaj 1000 celic na liter in so pri teh količinah že lahko škodljivi.

Najbolj pogosto in v največjih abundancah se v vzorcih vode pojavljajo štiri vrste: *Dinophysis sacculus*, *Dinophysis caudata*, *Dinophysis fortii* in *Phalacroma rotundatum*, ki imajo precej predvidljivo sezonsko dinamiko (kot je prikazano na spodnji sliki). Spomladi se prva pojavi vrsta *D. sacculus* in ima višek junija. Sledi *D. caudata*, ki se običajno pojavlja daljše obdobje, a je najbolj številčna v poletnih mesecih. Tipična jesenska vrsta je *D. fortii*, z viškom v septembru. Za vse tri vrste je značilno, da so njihove abundance v povprečju nizke, večinoma pod 100 celic na liter, le občasno se bolj namnožijo. Četrta najbolj pogosta vrsta je *P. rotundatum*, ki se pojavlja večinoma skozi vse leto, vendar skoraj nikoli ne preseže 100 celic na liter. Vse štiri vrste so najbolj pogoste med povzročitelji DSP tudi v drugih obalnih predelih Jadranskega morja, podobna pa je tudi njihova sezonska dinamika.

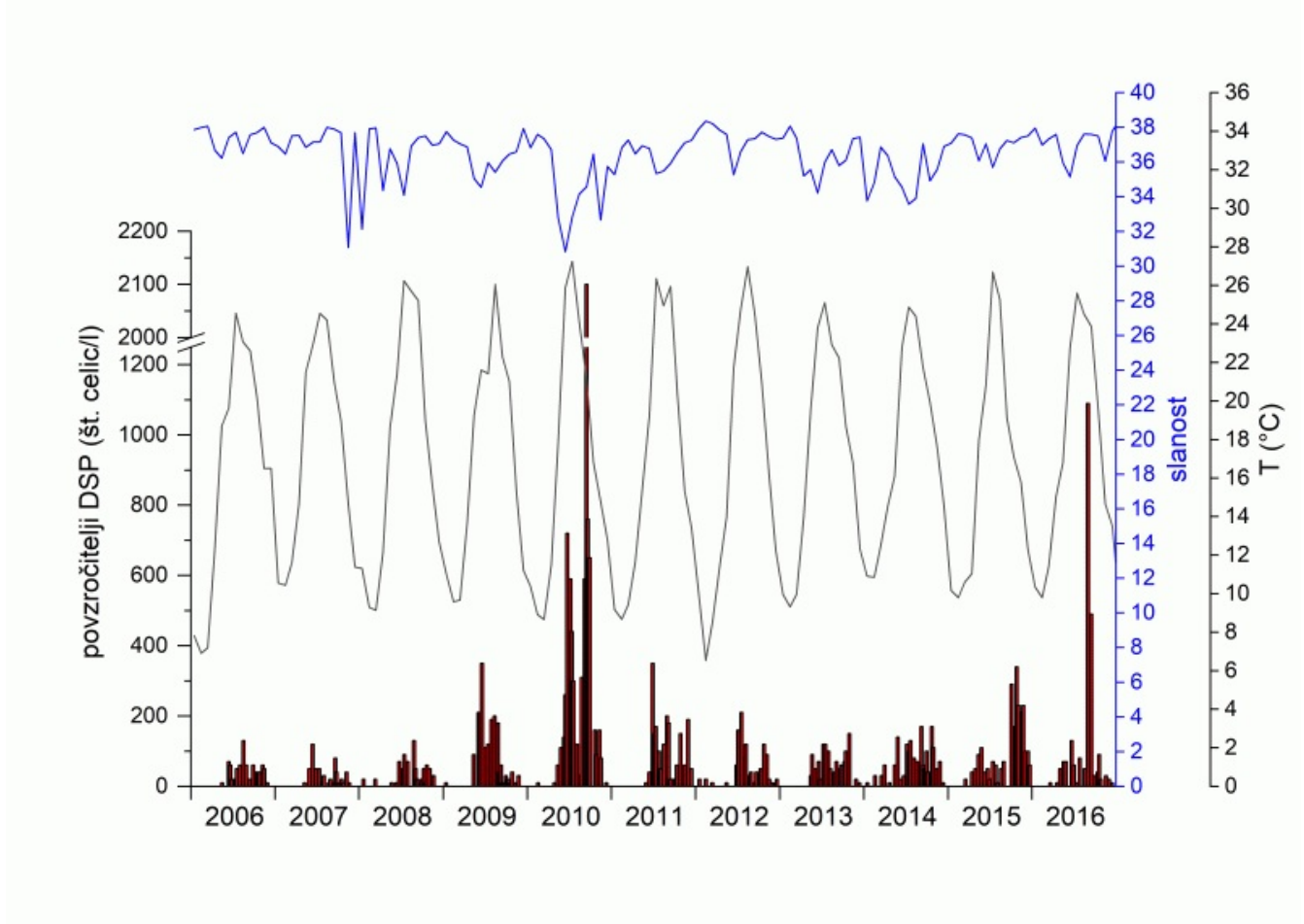


Sezonska dinamika štirih najpogostejših vrst dinoflagelatov, ki povzročajo diarejogeno zastrupitev s školjkami (DSP), na območju gojišča školjk na Debelem rtiču

Dejavniki, ki vplivajo na pojavljanje toksičnih mikroalg

Ker se toksičnost školjk praviloma pojavlja ob namnožitvi teh vrst, nas zelo zanimajo pogoji, ki privedejo do namnožitve. Poleg tega nas zanima tudi, ali je v vzorcu pojavljanja škodljivih cvetenj mogoče zaznati spremembe. Raziskovalci so si edini, da so povsod po svetu ti pojavi pogostejši in intenzivnejši kot v začetnem obdobju raziskav v 60. letih prejšnjega stoletja, hkrati pa se povečujeta tudi ekonomska škoda in vpliv na zdravje ljudi. Seveda gre razmah zapisov/poročanj o škodljivih cvetenjih v prvi vrsti pripisati povečanemu zanimanju in ozaveščenosti tako raziskovalcev kot splošne javnosti, vendar so škodljiva cvetenja tudi dejansko bolj razširjena in pogosta kot v preteklosti. Temu botrujejo različni vzroki, med katerimi so najpomembnejši razmah uporabe obalnih voda za namene akvakulture (https://www.gov.si/teme/akvakultura/) , evtrofikacija (bogatenje s hranilnimi snovmi, ki jih prinašajo odpadne vode iz čistilnih naprav in reke zaradi spiranja s kmetijskih površin), nehoten vnos mikroalg ali njihovih mirujočih stadijev z balastnimi vodami, klimatske spremembe in spremembe v prehranjevalnih spletih zaradi prekomernega ribolova.

Medtem ko v našem morju škodljivih cvetenj ne moremo povezovati z evtrofikacijo, saj smo v tem tisočletju zabeležili njen drastičen upad, lahko morda anomalije v pojavljanju cvetenj povezujemo z nenavadnimi klimatskimi in oceanografskimi razmerami. V časovni seriji podatkov o abundancah vseh DSP vrst smo opazili precejšen porast leta 2010 (kot je prikazano na spodnjem grafu), ko je bila med junijem in septembrom najbolj številčna vrsta *D. caudata* (do 630 celic na liter), septembra pa smo zabeležili še višek vrste *D. fortii* (do 2000 celic na liter). V površinskem vodnem sloju slovenskega morja smo od maja do oktobra 2010 beležili nizko slanost, z vrednostmi, ki so bile precej pod večletnim povprečjem: spomladi okoli 31, od poletja do jeseni pa okoli 35. Temperatura morja je bila višja od povprečja le junija in julija. Površinski sloj z nizko gostoto je torej od maja 2010 dalje povzročil močnejšo in stabilnejšo razslojenost vodnega stolpca v primerjavi s povprečjem. Te razmere povezujemo z obilnejšimi padavinami na slovenski obali in v zaledju ter z obilnejšimi pretoki rek, predvsem Soče, v jesenskih mesecih. Obenem so simulacije morskih tokov (https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1462-2920.12519) , ki so jih opravili kolegi, nakazale na možnost, da so se površinske »osladkane« vode iz izlivnega območja reke Pad, ki jih tokovi običajno odnašajo ob zahodni jadranski obali proti jugu, julija 2010 razširile vse do obal Istre in prekrile tudi površinski sloj Tržaškega zaliva.



Časovna vrsta skupne abundance povzročiteljev DSP v obdobju 2006–2016 s temperaturo in slanostjo površinskega sloja morja na območju gojišča školjk na Debelem rtiču

Iz nekaterih tujih pa tudi naših preteklih raziskav je znano, da nizka slanost spodbuja rast (delitev) nekaterih vrst iz rodu Dinophysis, koliko pa k spremenjenem pojavljanju škodljivih vrst v slovenskem morju doprinesejo še drugi dejavniki, smo poskušali ugotoviti s pomočjo umetne nevronske mreže (http://ethologie.unige.ch/etho5.10/pdf/basheer.hajmeer.2000.fundamentals.design.and.application.of.neural.networks.review.pdf) , t. i. samoorganizirajoče se preslikave (v nadaljevanju SOM (https://users.ics.aalto.fi/jhollmen/dippa/node9.html)). Glede na majhno število vstopnih podatkov, je SOM v seriji podatkov o abundancah DSP vrst in nekaj okoljskih parametrov (temperatura in slanost morja, pretok reke Soče) iz obdobja 2006–2016 izluščil le štiri različne situacije. Dve od teh predstavljata običajne razmere: prva v hladni polovici leta od pozne jeseni do zgodnje pomladi, ki jo zaznamujejo nizke temperature, visoka slanost in srednji pretoki, abundance DSP vrst pa so nizke ali pa jih v vzorcih sploh ni; druga pa v topli polovici leta, ki jo zaznamujejo visoke temperature, visoka slanost in nizki pretoki; od DSP vrst pa visoke abundance *D. sacculus* in v manjši meri *P. rotundatum*. Tretja situacija predstavlja jesenske razmere v letih 2010, 2011, 2014 in 2016 s srednjimi temperaturami in visoko slanostjo kljub velikim rečnim pretokom, ki so narekovale visoke abundance *D. fortii* in *D. tripos*. Prav posebna pa je bila situacija junija in julija 2010, ko je bila temperatura vode zelo visoka, slanosti pa absolutno najnižje poleg trenutnih nizkih pretokov. To situacijo so zaznamovale visoke abundance *D. caudata*.

V skladu z dogajanjem v fitoplanktonski združbi je bila tudi toksičnost školjk leta 2010 izjemna. Če rezultate SOM primerjamo z obdobji prepovedi prodaje školjk zaradi dokazane toksičnosti, je opaziti določeno prekrivanje s posebno poletno situacijo leta 2010 in jesenskimi situacijami v nekaterih letih. Analiza nakazuje, da je večja verjetnost toksičnosti školjk v dveh primerih: zelo visoke temperature in nizke slanosti lahko privedejo do »cvetenja« *D. caudata*, medtem ko visoki rečni pretoki jeseni ob hkratni relativno visoki slanost lahko vodijo v »cvetenje« *D. fortii* in *D. tripos*. Moč napovedovanja toksičnih cvetenj na podlagi teh rezultatov je sicer še omejena, saj vsako cvetenje omenjenih vrst ne vodi tudi v toksičnost školjk, vendar nakazuje na možnost boljših napovedi v bližnji prihodnosti.

V zadnjih letih opažamo tudi nekaj novih toksičnih vrst oziroma nekatere vrste postajajo bolj pogoste. *D. tripos* se je v večjem številu pojavil prav leta 2010, do tedaj smo ga v vzorcih opažali zelo redko. Od leta 2010 dalje ga v vzorcih opažamo vsako jesen. Še en taka vrsta je *Karenia papilionacea*, dinoflagelat, ki proizvaja nevrotoksične brevetoksine (http://www.fao.org/3/y5486e/y5486e0o.htm#bm24) . To vrsto, ki je ime dobila zaradi načina gibanja, spominja namreč na letenje metulja, smo prvič opazili leta 2015 v zimskih mesecih in od tedaj se ravno tako pojavlja vsako leto. Ali je vse pogostejše opažanje teh vrst morda povezano z naraščajočimi temperaturami morja, pa bo morda pokazala analiza čez nekaj let.

Omenili smo, da je eden izmed razlogov za porast škodljivih cvetenj alg tudi vnos tujerodnih organizmov; pri mikroalgah so najpomembnejši vektor vnosa balastne vode. Pojavljanje takih vrst v Jadranskem morju, v Sloveniji predvsem na območju Luke Koper, smo proučevali v projektu BALMAS (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X17310561?via%3Dihub) . Kot tujerodni smo prepoznali tudi dve toksični vrsti: bentoškega dinoflagelata iz rodu *Ostreopsis* in diatomejo

Pseudo-nitzschia multistriata. Slednjo, ki je povzročitelj ASP, smo v vzorcih prvič določili leta 2015 in jo od takrat redno opažamo v zimskih mesecih, vendar zaenkrat v nizkih abundancah. Isto vrsto smo našli tudi v balastnih vodah ladij, ki so pristale v Luki Koper.

Kljub velikemu in naraščajočem vplivu, ki ga imajo škodljiva cvetenja alg na obalne ekonomije in zdravje ljudi širom sveta (https://hab.whoi.edu/impacts/impacts-socioeconomic/) , je negativen vpliv teh pojavov v slovenskem prostoru relativno majhen. Ker pa nas raziskovalce taki pojavi fascinirajo, nas zelo zanima, kakšna bi bila dinamika kakšnega res spektakularnega cvetenja. Vendar na to na srečo še nimamo odgovora.

https://www.alternator.science/en/long/skodljiva-cvetenja-alg-na-sledi-sprememb-v-slovenskem-morju/