

# Estuariji rijeka u jadranskom slivu na području Republike Hrvatske

---

**Vitlov, Nina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:809097>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu

Preddiplomski sveučilišni studij Podvodnih znanosti i tehnologija (jednopedmetni-redovni)

**Nina Vitlov**

**Estuariji rijeka u jadranskom slivu na području  
Republike Hrvatske**

**Završni rad**

Zadar, 2022.

Sveučilište u Zadru

Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulturu

Preddiplomski sveučilišni studij Podvodnih znanosti i tehnologija (jednopedmetni-redovni)

Estuariji rijeka u jadranskom slivu na području Republike Hrvatske

Završni rad

Student/ica:

Nina Vitlov

Mentor/ica:

dr. sc. Ivana Zubak Čižmek

Zadar, 2022.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Nina Vitlov**, ovime izjavljujem da je moj **završni** rad pod naslovom **Estuariji rijeka u jadranskom slivu na području Republike Hrvatske** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 8. lipnja 2022.

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Cilj i svrha rada .....	2
3. Estuariji kao stanište .....	3
3.1. Uvjeti u estuariju .....	4
3.1.1. Salinitet.....	4
3.1.2. Sediment .....	5
3.2. Prilagodbe .....	7
3.2.1. Fitoplankton .....	7
3.2.2. Životinje.....	7
3.2.3. Biljke .....	9
3.3. Bioraznolikost .....	10
3.4. Produktivnost .....	12
3.5. Biomasa .....	14
3.6. Nutrijenti.....	16
3.6.1. Silicij.....	16
3.6.2. Fosfor.....	17
3.6.3. Dušik.....	17
4. Estuariji u Hrvatskoj.....	19
4.1. Estuarij rijeke Dragonje.....	22
4.2. Estuarij rijeke Mirne.....	23
4.3. Limski kanal.....	24
4.4. Estuarij rijeke Raše.....	26
4.5. Estuarij rijeke Rječine .....	29
4.6. Estuarij rijeke Zrmanje .....	31
4.7. Estuarij rijeke Krke .....	34
4.8. Estuarij rijeke Jadro.....	36

4.9. Estuarij rijeke Cetine .....	37
4.10. Estuarij rijeke Neretve .....	39
4.11. Estuarij rijeke Omble .....	41
5. Zaključak.....	43
6. Literatura:.....	45

## **Zahvala**

Prije svega se zahvaljujem od srca svojoj mentorici, dr.sc. Ivani Zubak Čižmek na podršci i usmjerenju tijekom pisanja ovog završnog rada te što je omogućila da na što bezbolniji način, sa svojim ohrabrenjima, završim svoje fakultetsko obrazovanje.

Zahvaljujem i svojoj obitelji koja me je podržavala i vjerovala u mene kroz ove tri godine. Posebice ocu Nevenu, od kojeg sam naslijedila da se uvijek izborim za sebe, budem asertivna i da nikad ne prihvaćam nepravdu. To su osobine koje sam često koristila tijekom ove tri godine, zbog čega na kraju i jesam izvrstan student.

Neizostavno zahvaljujem majci Ljiljani, na beskrajnim satima slušanja o mojim problemima tijekom studiranja te neizmjerne podršci i vjerovanju u mene, čak i kada ja sama nisam vjerovala u sebe. Ona je uvijek znala da mogu i bila tu kao oslonac bez kojeg ne bih mogla.

## **Estuariji rijeka u jadranskom slivu na području Republike Hrvatske**

Estuariji su jedinstvena staništa; u njima organizmi nalaze hranu, mjesto za razmnožavanje te zaštitu od predatora. Glavni čimbenici o kojima ovisi živi svijet u estuariju su salinitet, sedimentacija te količina otopljenih nutrijenata. Salinitet je promjenjiv i ovisi o količini miješanja slatke i slane vode. Rijeke donose velike količine materijala te je najčešći tip sedimenta koji pokriva dno estuarija pijesak ili mulj. Promjene fizikalno-kemijskih čimbenika su česte te se mali broj organizama može u potpunosti prilagoditi. Neke od najvažnijih prilagodbi su sposobnost osmoregulacije i pričvršćivanja za meko dno. Mnogi organizmi se u nepovoljnim uvjetima zakopavaju u sediment ili otplivaju. Biljke na rubovima estuarija mogu pohraniti velike količine vode u tkivima ili izlučuju višak soli preko žlijezda. U estuariju se nalaze fotosintetski organizmi koji osiguravaju primarnu proizvodnju tokom cijele godine, a i rijekama se donose velike količine nutrijenata. Povećan unos nutrijenata u estuarij ima štete posljedice kao što su: hipoksija, anoksija, štetno cvjetanje algi te gubitak bioraznolikosti. Estuariji su područja pod velikim antropogenim utjecajem i eutrofikacija je često prisutna. Najveći doprinos eutrofikaciji estuarija imaju silicij, dušik i fosfor. Silicij koriste organizmi za izgradnju svoje ljuštore. Fosfor se unosi kanalizacijom te poljoprivrednim sredstvima. Dušik može ulaziti kao nusprodukt pročišćavanja otpadnih voda, iz atmosfere te izravno rijekama. U Jadranskom moru nalazimo brojne zaljeve i visoko stratificirane krške estuarije, obogaćene anorganskim i organskim tvarima. Stvaraju ih krške rijeke u područjima gdje izmjena plime i oseke nije velika. Ti su ekosustavi jedinstveni po svojim obilježjima i karakteristični za krško obalno područje Republike Hrvatske te ih je potrebno proučavati kako bi se doprinijelo njihovoj učinkovitoj zaštiti i održivom korištenju.

Ključne riječi: estuarij, Jadransko more, bioraznolikost, salinitet, produktivnost



## **Estuaries of the Adriatic basin in the Republic of Croatia**

Estuaries are unique habitats where organisms can find food, a place to reproduce, and protection from predators. The main factors which affect the living world in the estuary are salinity, sedimentation, and dissolved nutrients. Salinity is variable and depends on the level of mixing of fresh and salt water. Rivers bring large amounts of material, and the most common types of sediments covering the bottom of the estuary are sand and silt. Changes in physicochemical factors are common, and few organisms can fully adapt. Some of the most important adjustments are the ability to osmoregulate and attach to the soft bottom. Many organisms bury themselves in sediment or swim away under unfavorable conditions. Plants at the edges of the estuary can store large amounts of water in their tissues or excrete excess salt through the salt glands. The estuary harbors photosynthetic organisms that ensure primary production throughout the year, with large amounts of nutrients being brought in by the rivers. Increased concentration of nutrients in the estuary has harmful consequences such as hypoxia, anoxia, harmful algae blooms, and biodiversity loss. Estuaries are areas under the significant anthropogenic influence, and eutrophication is often present. Silicon, nitrogen, and phosphorus have the most significant contribution to the eutrophication of estuaries. Organisms use silicon to build their shells. Phosphorus is introduced through sewage and agricultural products. Nitrogen can enter as a by-product of wastewater treatment or from the atmosphere. We find numerous bays and highly stratified karst estuaries in the Adriatic Sea, enriched with inorganic and organic substances. They are created by karst rivers in areas where the change of tides is not significant. These ecosystems are unique in their features and characteristic of the karst coastal area of the Republic of Croatia. They need to be studied to contribute to their adequate protection and sustainable use.

Keywords: estuary, Adriatic Sea, biodiversity, salinity, productivity

## 1. Uvod

Estuariji su jedinstvena staništa u kojima su prisutni specifični uvjeti na koje organizmi moraju biti prilagođeni. Zbog karakteristika ekstremnih staništa, u estuarijima najčešće nalazimo manji broj vrsta, ali veliku brojnost jedinki (Gazeau i sur., 2004.). Među organizmima koji se u velikom broju nalaze u estuarijima je i fitoplankton koji je zaslužan za visoku primarnu proizvodnju u estuariju te čini većinu biomase u istraživanim estuarijima. Iako su u estuarijima prisutni različiti nutrijenti, najveći doprinos i ulogu u ovim vodenim ekosustavima imaju silicij, dušik i fosfor (Montagna i sur., 2002.). Dušik i fosfor su u direktnoj povezanosti i s ljudskim djelovanjem i štetnim posljedicama koje ljudi imaju na estuarije (Latimer i Charpentier, 2010.). Intenzivno korištenje područja uz obalu i urbanizacija rezultirali su povećanim zagađenjem i povećanom koncentracijom hranjivih tvari u morskim ekosustavima, a tako i donosom štetnih spojeva koji otječu s kopna prema obalnim vodenim sustavima (Herman i sur., 1999.).

Iako estuariji djeluju kao veza između kopna i mora, u posljednje vrijeme su preopterećeni prekomjernim donosom sedimenta i štetnih tvari. Zbog toga što prisutni organizmi ne mogu profiltrirati sve što uđe u vodu estuarija, smanjena je kvaliteta same u vode u estuariju, a od ostalih negativnih posljedica se ističu eutrofikacija, štetno cvjetanje algi, prisutnost fekalnih bakterija, ali i pomor određenih vrsta kao što su školjkaši i ribe (Sipura i sur., 2005.). Povećanjem količine suspendiranog sedimenta, smanjuje se prodor sunčevog svjetla do bentičkih organizama te fotosintetski organizmi ugibaju (Lionard i sur., 2008.). Estuariji su među najproduktivnijim staništima na Zemlji. Zahvaćaju malu cjelokupnu površinu (5,2 % Zemljine površine, 2% volumena oceana), ali na sebi nose ogroman teret ljudskih postupaka (Ibanez i sur., 2012.).

Hrvatski krški estuariji su specifični po svojim zajedničkim obilježjima; malim oscilacijama plime i oseke i dominantnom djelovanju rijeka koje se nakon toka ulijevaju u Jadransko more. Svi estuariji obrađeni u radu su visoko-stratificirani sa izraženom haloklinom te predstavljaju kompleksno područje koje je uvjetovano brojnim fizikalno-kemijskim procesima. Svima im je zajedničko da pripadaju u prijelazne vode jadranskog sliva. Kao i u ostalim svjetskim estuarijima, u krškim estuarijima zaklon i zaštitu pronalaze brojni organizmi, ali još jedan faktor koji je zajednički svim estuarijima, pa tako i našim, je štetan antropogeni utjecaj (Vaniček i sur., 2000.). Jadran je oligotrofno more i ušća rijeka tj. područja estuarija su važna za uzgoj školjkaša jer je u njima povećana količina nutrijenata – malo ih je, jako su vrijedni, a pod velikim su pritiskom. S obzirom na to da je Jadransko more duboko usječeno u europsko kopno, iznimno je podložno promjenama u okolišu, koje su ubrzane zbog učinka

klimatskih promjena (Arapov i sur., 2017.). Estuariji su ugroženi podizanjem razine mora, koje rezultira povećanje saliniteta i povećanjem prodora slane vode u kopno. Ta promjena u salinitetu odrazit će se na promjeni distribucije vrsta u estuariju, tj. uzvodnom pomaku organizama. U ovisnosti o toleranciji na salinitet, sastav zajednica na određenom području u estuariju će se mijenjati (Little i sur., 2017.).

Kroz geološku prošlost do sada, dokazane su promjene u geomorfologiji i biološkoj raznolikosti estuarija zbog utjecaja promjene klime (globalno zatopljenje, podizanje razine mora, migracija vrsta zbog povećane temperature mora), ali ne treba zanemariti niti posljedice kojima su estuariji izloženi zbog ljudskog djelovanja (zauzimanje zemljišta uz obalu te izgradnja, odlaganje otpada, poljoprivreda, ribarstvo, turizam). Ljudsko upravljanje i želja za gospodarskim razvojem negativno utječu na staništa te mogu značajno degradirati vodene ekosustave. Razumijevanje veze između geomorfologije obale i održivosti ekosustava ključno je za očuvanje i obnovu obalnog ekosustava. Ipak, važno je napomenuti da je prisutan interes za povećanje otpornosti estuarijskih sustava i njegovo vraćanje na normalan i prirodan razvojni put (Skejić i sur., 2015.).

## 2. Cilj i svrha rada

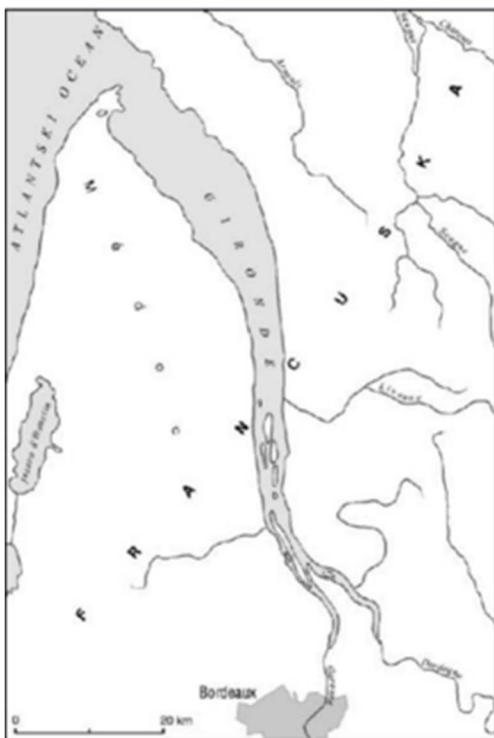
Cilj rada je pregledom literature i dostupnih znanstvenih radova prikazati estuarije kao jedinstvene ekosustave sa specifičnim uvjetima za život, s posebnim naglaskom na krške estuarije koji su karakteristični za hrvatsko područje. Rad pregledno prikazuje ključne elemente ekosustava, od uvjeta za život do prilagodbi živog svijeta te bioraznolikosti tog vodenog sustava. Osim toga, cilj ovog rada je prikazati stanje hrvatskih krških estuarija i njihovih značajki, iz razloga što nisu istraživani u jednakoj mjeri kao pojedini svjetski est većih rijeka.

Svrha rada je na temelju obrađene literature pružiti jasne informacije o posebnosti estuarija kao jednih od najproduktivnijih staništa na Zemlji. Svrha rada je i potaknuti javnost na razmišljanje o njihovom direktnom ili indirektnom učinku na obalna staništa. Svakodnevne „bezopasne“ aktivnosti (poljoprivreda, ribarstvo, turizam) te uzimanje ovog sustava zdravo za gotovo, mogu imati značajne, a često i pogubne posljedice na život u estuariju. Ovi sustavi, kao i sve drugo na Zemlji, nisu uspjeli ostati imuni na ljudsko djelovanje te snose posljedice čovjekovog nemara.

### 3. Estuariji kao stanište

Današnja riječ estuarij dolazi od latinske riječi *aestuarium* koja označava zaljev ili nisku obalu. Prilikom podizanja i spuštanja razine mora, posebice na niskim obalama, more pomiče veliku količinu nanosa sedimenta čime se korito rijeke povećava tj. povećava se njegova povezanost s morem (URL 1: Hrvatska enciklopedija). Takva posebna vrsta staništa je dom raznim biljnim i životinjskim vrstama koje u njemu nalaze izvor hrane, zaštitu i mjesto za razmnožavanje (URL 2: NOAA). Prema podacima Carstensen i suradnika (2006.), rijeke koje donose velike količine hranjivih tvari osiguravaju estuariju naziv jednog od najproduktivnijih staništa (Slika 1). Bogatstvo hranjivih tvari pokreće hranidbeni ciklus u kojem nutrijente iskorištava fitoplankton, a prisutnost fitoplanktona je u korelaciji s hranom mnogih mladih riba, tj. sa zooplanktonom. Obilje planktona prisutnog u ovom staništu ga čini povoljnim za razmnožavanje i razvoj riba (Carstensen i sur., 2006.).

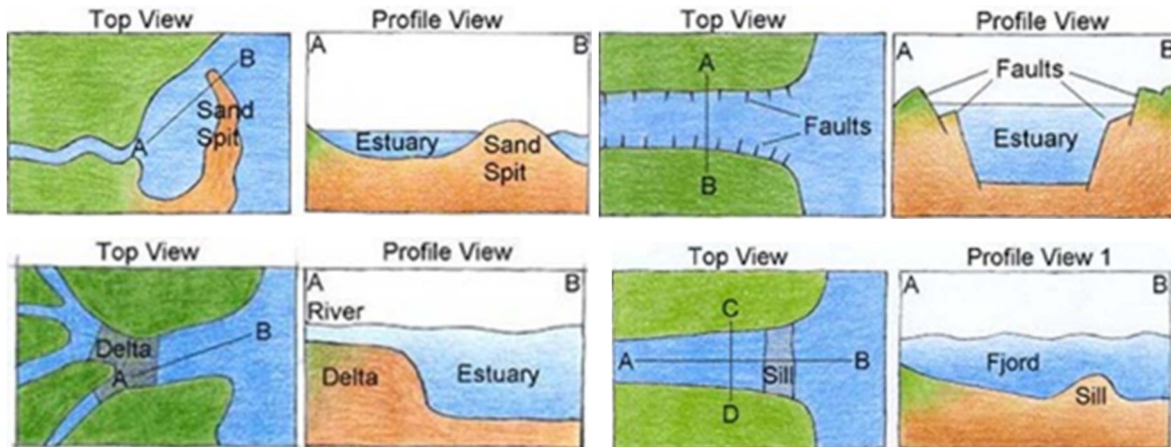
Estuariji su karakterizirani promjenama razine mora (plimom i osekom), saliniteta i gustoće vode, koji se mijenjaju u ovisnosti o intenzitetu miješanja rijeke i mora. Razlika u gustoći slane i slatke vode se očituje u stvaranju vertikalnih slojeva (stratifikacija) prilikom čega se slatka voda manje gustoće nalazi iznad slane vode veće gustoće (Hansen i Rattray, 1966.).



Slika 1. Rijeka Gironde koja teče kroz Francusku i ulijeva se u Atlantski ocean, izvor URL 3: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18450>

Estuariji se mogu podijeliti prema geomorfologiji (postanku i razvoju) te na temelju stratifikacije uzrokovane salinitetom. Prema salinitetu estuarije dijelimo na: gornji (riječni)

estuarij definiran slatkom vodom sa salinitetom 0,5-1, srednji estuarij sa miješanjem slatke i slane vode saliniteta oko 15 i donji (morski) estuarij koji ima skoro ista svojstva kao more, saliniteta 30-35 (Cameron i Pritchard, 1963.). Što se tiče geomorfologije mogu se podijeliti na potopljena riječna ušća, tektonske estuarije, limane i fjordove (Slika 2.) (Castro i Huber, 2008.).



Slika 2. Podjela estuarija (s desna na lijevo, gore prema dolje), 1. liman (bar-built estuary), 2. tektonski estuarij, 3. potopljena riječna ušća, 4. fjord, izvor URL 4: <https://slideplayer.com/slide/10085868/>

Kraj posljednjeg ledenog doba obilježilo je otapanje ledenjaka zbog čega je došlo do podizanja razine mora. Kao posljedica, doline rijeka su potopljene pri čemu nastaje jedan od najčešćih tipova estuarija - potopljena riječna ušća. Druga vrsta estuarija je liman koji nastaje nakupljanjem sedimenta između rijeke i mora te predstavlja prepreku miješanju slatke i slane vode (usporen je tok rijeke). Kada se zbog pomicanja zemljine kore tlo potopi i spusti ispod razine mora, nastaju tektonski estuariji. Posljednja kategorija estuarija pripada fjordovima čiji postanak definiraju ledenjaci koji su pravili velike doline duž obala kojima su kasnije počele teći rijeke (Castro i Huber, 2008.).

### 3.1. Uvjeti u estuariju

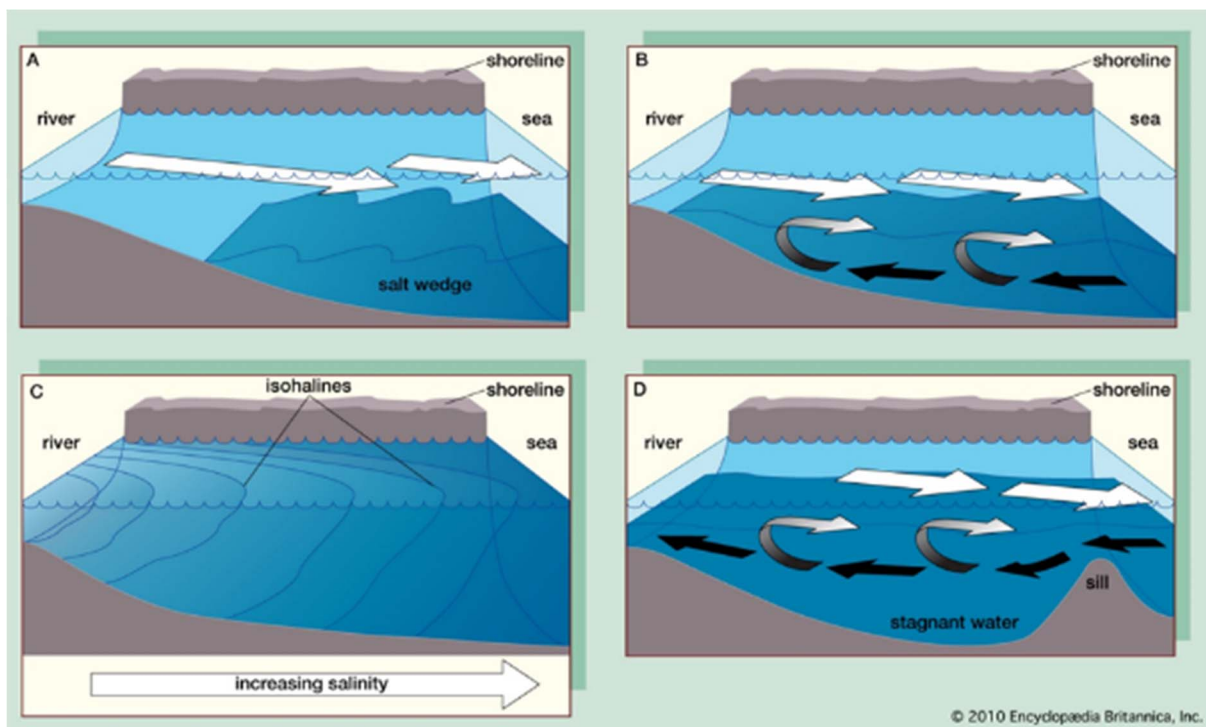
#### 3.1.1. Salinitet

Čimbenici o kojima ovise uvjeti u estuariju su salinitet, sediment i količina otopljenog materijala (nutrijenata) i kisika (Antonov i sur., 2006.). Kopnena voda s niskim salinitetom koja prodire u more većeg saliniteta razrjeđuje ga na mjestu gdje se spajaju. Unutar estuarija se razlikuju oligohalini organizmi, koji podnose salinitet 0,5-5, mezohalini koji toleriraju salinitet 5-18 te polihalini koji se mogu naći i u područjima gdje je salinitet 18-30 (Montagna i sur., 2013.).

Salinitet, kao jedan od glavnih obilježja estuarija, je jako promjenjiv i ovisi o količini miješanja slatke i slane vode. Što je više estuarij otvoren prema moru, salinitet će biti veći.

Gledajući u smjeru od rijeke prema mjestu gdje se estuarij spaja s morem, salinitet će biti sve veći što je bliže mjestu spajanja. Isto tako, salinitet varira i s dubinom. Na mjestu gdje se spajaju more i rijeka, salinitet će biti veći s povećanjem dubine jer se slatka voda, koja ulazi u rijeku, zadržava na površini zbog njene manje gustoće što rezultira stvaranjem slanog klina na dnu (Slika 3). Djelovanjem morskih mijena klin se pomiče prema ušću rijeke s plimom te se povlači kada se razina mora opet spusti (oseka). Zbog same prirode ovog staništa, podrazumijeva se da su organizmi koji žive u njemu prilagođeni na velike varijacije u salinitetu (eurihalini organizmi) (Castro i Huber, 2008.).

Izražene promjene saliniteta smanjuju mogućnost otapanja kisika; količina kisika koja se može otopiti u vodi smanjuje se povećanjem saliniteta. Iako postoje određene vrste organizma koje se mogu maknuti s područja u kojem im ne odgovara razina saliniteta (npr. ribe), ostali organizmi, posebice bentoski organizmi, nemaju tu opciju. Okoliš sa neodgovarajućom količinom kisika može imati privremene negativne posljedice na živi svijet (smanjena stopa razmnožavanja, fizički stres), ali i trajne posljedice (otežano preživljavanje i smrt) (Mitsch i Gosselink, 2000.; Palmer i sur., 2008.).



Slika 3. Tip estuarija prema salinitetu, A-slani klin, B-djelomično izmiješan, C-vertikalno homogeni estuarij, D-jako stratificirani estuarij, izvor URL 5: <https://www.britannica.com/science/estuary>

### 3.1.2. Sediment

Najčešći tip supstrata tj. sedimenta koji pokriva dno estuarija je pijesak ili mulj. Rijeke donose velike količine materijala (Slika 4); veće čestice kao što su krupni pijesak zadržavaju se

u gornjem dijelu riječnog ušća gdje vodena struja usporava, a finije čestice kao što je mulj se prenose dalje. Ako se čestice mulja (sastavljenog od finih glinenih i pješćanih sedimenata) koncentriraju dalje od ušća na nekom mjestu, oni tamo stvaraju prepreku koja dodatno usporava tok rijeke. Mulj na dnu estuarija je bogat organskom tvari. U njemu se nalaze bakterije koje razgrađuju organsku tvar i troše kisik koji se nalazi u vodi između čestica sedimenata. Sediment na dnu stoga može biti anoksičan (bez kisika) te uzrokuje karakterističan miris po trulim jajima (prisustvo sumporovodika) i crnu boju. Anoksičan sediment nije u potpunosti bez života, u njemu se nalaze anaerobne bakterije kojima za preživljavanje nije potreban kisik, dapače, za neke je i smrtonosan (Castro i Huber, 2008.).

Najčešće se istraživanja provode na sedimentu s površine dna jer on pokazuje trenutno stanje u staništu. Osim toga, mogu se uzorkovati i dublji slojevi sedimenta. Takva istraživanja služe za dobivanje podataka o dugoročnom onečišćenju na tom području i utjecaju koje je onečišćenje imalo kroz povijest na estuarij (Rodríguez-Obeso i sur., 2007.).

Ako se koriste metode sakupljanja sedimenata s površine, Quintino i suradnici (2006.) predlažu uzorkovanje bentičkih organizama kao ekoloških pokazatelja zbog njihove lakoće korištenja, ali važnije zbog njihove osjetljivosti na male promjene u okolišu u kojem se nalaze. Ističu da se od 1960-ih foraminifere koriste kao ekološki bioindikatori, posebice ako je estuarij onečišćen. Prema Lippsu (1983.) koriste se jer se mogu jako lako prikupiti te pokazuju veliku gustoću populacije čak i ako je prikupljeni uzorak malen. Dodatan razlog njihovog korištenja je njihov kratak životni vijek pa brzo reagiraju na bilo kakve promjene u okolišu. Foraminifere ne reagiraju samo na promjene temperature ili saliniteta, nego i na promjene uzorkovane ljudskim djelovanjima kao što su razna onečišćenja i stvaranje uvjeta hipoksije. Jedna od važnijih osobina foraminifera je to što pokazuju stanje koje je bilo u okolišu u trenutku kada su uginule (Ferraro i sur., 2006.).



Slika 4. Estuarij La Plata, najveći estuarij na svijetu, izvor URL 6: <https://hr.izzi.digital/DOS/1660/1823.html>

## 3.2. Prilagodbe

Za život u estuariju organizmi moraju biti prilagođeni na promjene u temperaturi, salinitetu, količini hranjivih tvari i supstrata u vodenom stupcu. Mali broj organizama se uspije potpuno prilagoditi na uvjete koji vladaju u estuariju. Jedna od najvažnijih i najtežih prilagodbi u ovom staništu je regulacija soli koja ulazi i izlazi iz tijela. Zbog meke prirode samog sedimenta na dnu estuarija, organizmi su morali razviti prilagodbe za pričvršćivanje za dno. Životinje se zakopavaju ili žive ispod sedimenta (Castro i Huber, 2008.).

### 3.2.1. Fitoplankton

Estuariji su stresna područja za fitoplankton. Na mjestu spajanja rijeka i mora, udio slatke vode je vrlo nizak kada se usporedi s rijekom koja pritječe u more. Iako je estuarij pogodno stanište za život zbog velike količine hranjivih tvari, gibanje mora za posljedicu ima dotok slane vode koja stvara stres, a u nekim slučajevima i smrt (Morris i sur., 1978). Zbog povećanja zamućenosti vode smatra se da se količina primarne proizvodnje smanjuje od sredine rijeke prema kopnu. Velika količina suspendiranih čestica u vodi ograničava fotosintezu (Cloem, 1987.). Smatra se da je fitoplankton brojniji na mjestima udaljenijim od mjesta spajanja rijeke i mora, gdje je i veća koncentracija klorofila a (Anderson, 1986.).

### 3.2.2. Životinje

Morski eurihalini organizmi unose veće količine slane vode osmozom ako se nađu na području estuarija gdje se salinitet vode razrjeđuje dotokom slatke vode (posebice na mjestu točnog spajanja rijeke u more). Za ostale organizme postoje i opcije sakrivanja u rupe na dnu,

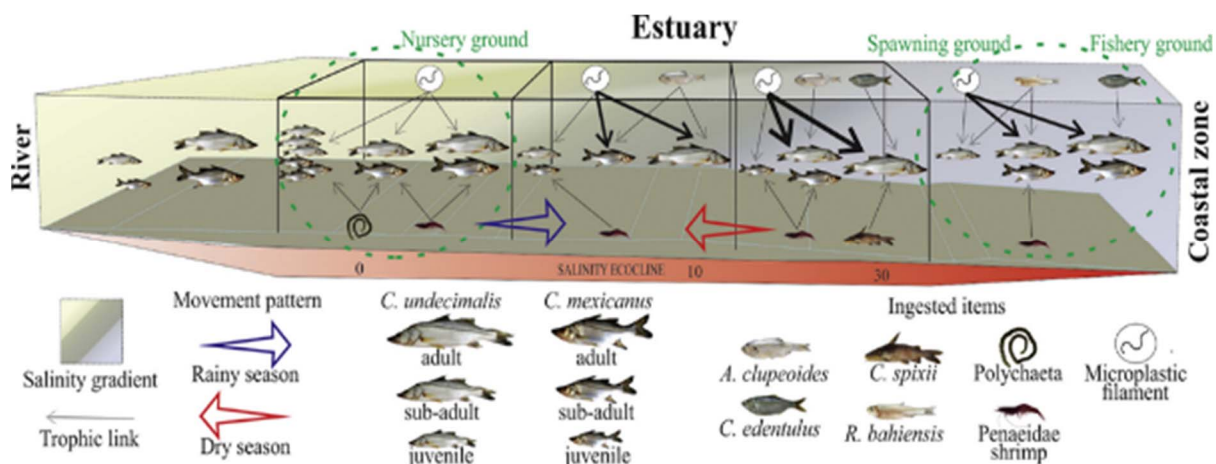


pod ljuske ili jednostavno otplivaju do područja gdje je salinitet u njihovim granicama podnošljivosti (Castro i Huber, 2008.).

McLusky i Elliott (2004.) ukazuju na posebnu prilagodbu života u estuariju, a to je način razmnožavanja riba. Postoji razlika između riba koje žive u estuariju i onih koje migriraju između mora i rijeka. U njihovom istraživanju je prevladavala oviparnost kod obje vrste, ali kod estuarijskih riba je primijećeno zaštitničko ponašanje nakon polaganja jaja ili polaganje jaja na dno estuarija, dok su kod migrirajućih vrsta jaja plutala u vodenom stupcu ili su bila pričvršćena za supstrat na dnu. Briga i čuvanje izlegnutih jaja ili čuvanje jaja u tijelu određeni dio vremena nisu nepoznata pojava kod vrsta koje žive u estuariju. To je način poboljšavanja stope preživljavanja u estuariju zbog nepredvidivosti i dosta ekstremnih promjena uvjeta u ovom staništu (Elliott i Dewailly, 1995.).

Miješanje slane i slatke vode dovodi do razlika u kvaliteti vode koja utječe na rasprostranjenost riba koje se nalaze u blizini ušća ili su orijentirane više prema kopnu (Slika 5.). Da nema miješanja vode u estuariju, posebice pomicanjem morske razine, teža slanija voda bi uvijek ostala na dnu (Lucas i sur., 2006.). Miješanje vode također uzorkuje pomicanje čestica sedimenta u riječnom dijelu estuarija. Promjena bilo kakvih faktora (temperatura, povećanje količine čestica sedimenta u vodi) u staništu može imati pozitivne i negativne posljedice na organizme koji žive u njemu (Krone, 1979.).

Organizmi koji žive u estuariju imaju posebne prilagodbe koje su za svaki organizam različite. Na primjeru školjkaša koji su pričvršćeni za podlogu, Elliott i Dewailly (1995.) prikazuju estuarij kao stresno stanište zbog promjena razine mora koje sa sobom donose i odnose sediment te loše utječu na kvalitetu vode u kojoj se školjkaši nalaze. S druge strane, Levins (1969.) daje suprotan primjer za ribe kojima estuariji ne moraju biti toliko stresno stanište jer mogu otplivati s mjesta na kojem im ne odgovara određeni uvjet. Mogu plivati prema površini gdje je salinitet manji i temperatura veća. Nadodaje kako im fiziološki stres može stvarati jedino nedostatak hrane ili predatori koji ih vrebaju. Život organizma u estuariju ovisi o tome koliko su se dobro prilagodili s obzirom na životne procese samog organizma na stres ili o tome koliko mogu izbjeći prilagodbu promjenom ponašanja (Moyle, 2008.).



Slika 5. Ribe u estuariju, izvor: Ferreira i sur. 2019.

### 3.2.3. Biljke

Biljke u estuariju podnose velik raspon saliniteta. Vrste koje žive u zoni plime i oseke prilagodile su se tako da sakupljaju sol koja dolazi iz mora, imaju slane žlijezde putem kojih otpuštaju višak soli ili sakupljaju velike količine vode u tkivima koja razrijede apsorbiranu sol (Slika 6) (Castro i Huber, 2008.). Prema Koehlu (1982.), bentički organizmi, posebice oni koji žive pričvršćeni za dno, morali su se prilagoditi na stalnu izloženost gibanju vode. Biljke na dnu su građene tako da podnesu jača ili slabija kretanja mora koja ih vuku ili podižu s dna. Prilagodbe koje sprječavaju otkidanje biljke s dna razvile su se zbog otpora toku vodene mase u kojoj se biljka nalazi. Neke od tih prilagodbi su: stvaranje čvršćih struktura zbog sprječavanja lomljenja ili čupanja s dna, manji rast (manja veličina biljke) te ne pružanje otpora prilikom pomicanja vodene mase (prilagodljiva struktura) (Koehl i Alberte (1988.).

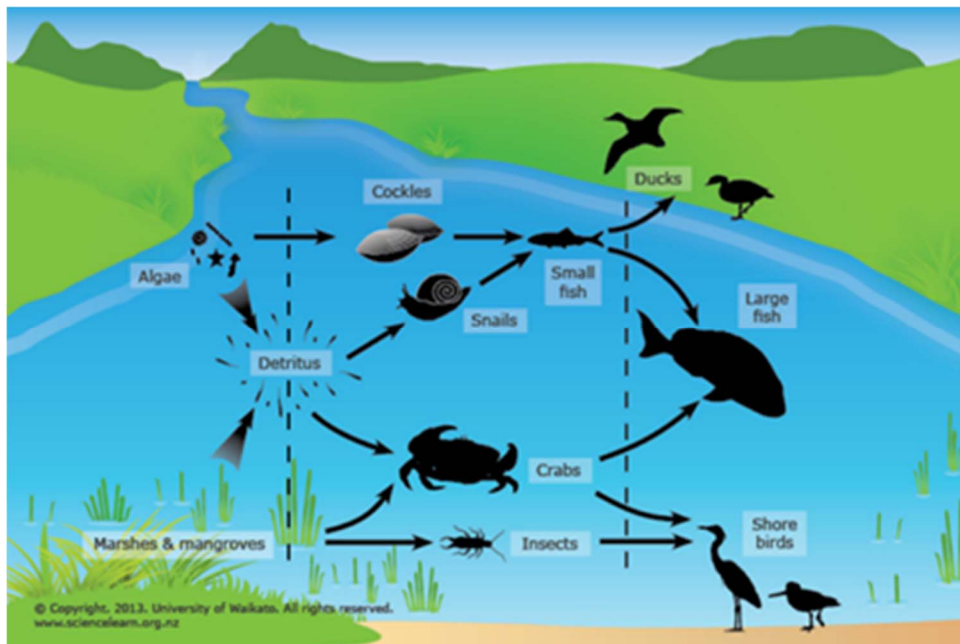
Rand (2000.) je svojim istraživanjem utvrdio da abiotički i biotički čimbenici utječu na razvitak biljke dok je još u ranom stadiju razvoja te na njeno preživljavanje i na poslijetku klijanje. Klijanje biljke u estuariju je ograničeno na to koliko je biljka prilagođena na to stanište i sposobnost biljke da se nadmeće s ostalim prisutnim vrstama (Hopfensperger i Engelhardt, 2008.). Neff i Baldwin (2005.) pokazali su da kretanje zbog plime i oseke služi za rasprostranjivanje sjemenki unutar estuarija i izvan njega te omogućuje širenje mladih biljaka na velike udaljenosti. Ta pretpostavka je opovrgnuta nakon ukazivanja na rad Bertness i Hackera (1994.) čijim je istraživanjem utvrđeno da se širenje sjemenki odvija samo lokalno.



Slika 6. Neke od biljaka u estuariju, izvor URL 7: <https://theestuaryoflife.weebly.com/>

### 3.3. Bioraznolikost

Plankton čine organizmi čije gibanje ovisi o vodenim strujama te reagiraju na promjene karakteristika vode u okolišu u kojem se nalaze. Primarna proizvodnja u velikom dijelu ovisi o fitoplanktonu u estuariju, a u određenim estuarijima, zbog smanjene koncentracije otopljenog dušika, produktivnost fitoplanktona opada (Specht, 1974.). Faktor koji utječe direktno na ulogu fitoplanktona je količina suspendiranih čestica u vodi, koje su većinom rezultat povlačenja masa vode u estuariju za vrijeme plime i oseke. Prodor sunčevih zraka potrebnih za fotosintezu je umanjen zbog ometanja suspendiranih čestica u stupcu vode (Castro i Huber, 2008.).

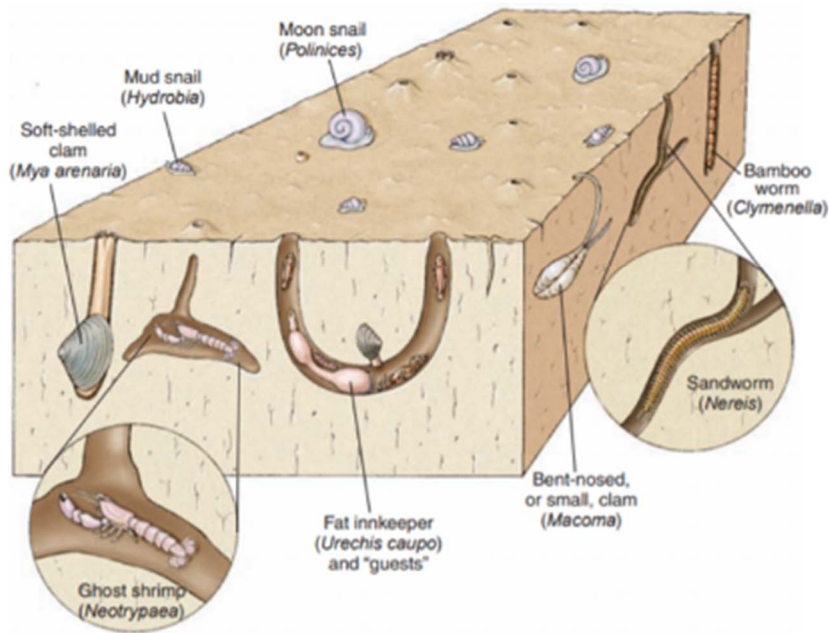


Slika 7. Prehrambeni lanac u estuariju, izvor URL 8: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1230-life-in-the-estuary>

Osim stalnih estuarijskih vrsta koje u njemu žive i prilagođene su na ekstremne životne uvjete, u estuariju se mogu pronaći i neke vrste riba koje migriraju zbog mrijesta iz mora u estuarij (anadromne) ili vrste koje žive u estuariju, ali se mrijeste u slanoj vodi (katadromne). Estuarij je pogodno mjesto za podizanje mladih riba zbog velike količine hranjivih tvari i relativno zaklonjenog prostora (Castro i Huber, 2008.). Činjenica da se ribe mogu kretati i time izbjegavati nepovoljne uvjete je velika prednost nad sjedilačkim organizmima. Kretanje im omogućava i više opcija za prehranu (Slika 7.) (Kennish, 1990.). Neki od abiotičkih čimbenika koji utječu na rasprostranjenost ribljih vrsta u estuariju (osim već spomenutih) je i količina otopljenog kisika u vodi (Blaber, 1981.).

Za vrijeme oseke, pliće površine ili područja dna s blagim nagibom postaju izložene zraku nakon što se voda povuče. Na tim mjestima dolazi do izlaganja muljevitog dna estuarija. Nedostatak vode u tim situacijama izlaže organizme predatorima te velikim razlikama u temperaturi između vode i zraka (Castro i Huber, 2008.). Iako na otvorenim površinama prekrivenim muljem i blatom nema puno primarnih proizvođača, na tim područjima se razvijaju dijatomeje i bakterije te se proces fotosinteze pokreće zbog pojačane izloženosti direktnoj sunčevoj svjetlosti. Na muljevitom estuarijskom dnu su česti školjkaši koje se hrane filtracijom. Za razliku od njih, škampi kopaju rupe u dnu te dovode kisik iz vode u anoksični estuarijski sediment. Druge vrste rakova se mogu pronaći u estuarijima za vrijeme oseke (Castro i Huber, 2008.).

Gibanja mora sa sobom donose dostatne količine hranjivih tvari koje koriste organizmi zakopani u estuarijskom dnu (infauna) (Slika 8.). Hrane se detritusom iz sedimenta ili suspenzijom ako je dno više pjeskovito. Ptice i ribe najznačajniji su predatori u staništu kao što je estuarij. Za vrijeme oseke ptice kljunom prodiru u mekani sediment kako bi pronašle organizme koji su zakopani (Slika 9). Za vrijeme plime ribe hvataju svoj plijen (Castro i Huber, 2008.).



Slika 8. Infauna u muljevitom dnu estuarija, Castro i Huber (2008) Marine Biology, 293



Slika 9. . Primjer ptice koja obitava i hrani se u estuariju, izvor URL 9: <https://www.neefusa.org/nature/water/americas-estuaries>

### 3.4. Produktivnost

Glavni čimbenik zaslužan za visoku stopu primarne proizvodnje je već spomenuta raznolikost estuarija. Slatka voda sa sobom nosi hranjive tvari koje su bitne algama i fitoplanktonu za proces fotosinteze, a morske mijene gibanjem vode hranjive sastojke

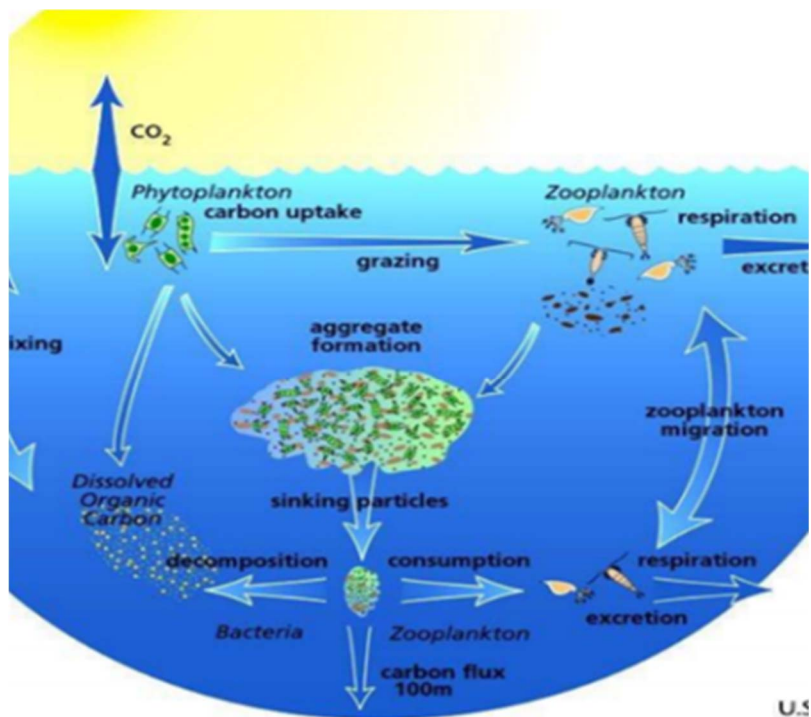
raspoređuju duž estuarija. Takva raspodjela hranjivih tvari potiče značajan porast brojnosti i raznolikost planktona koji su prvi korak u prehrambenom lancu estuarija (Nixon i sur., 1986.). Wofsy (1983.) zaključuje se da je aktivnost fitoplanktona u obrnuto proporcionalnom odnosu sa koncentracijom suspendiranih čestica u estuariju.

U estuariju se nalaze fotosintetski organizmi koji osiguravaju primarnu proizvodnju tokom cijele godine, a svaki od njih se nalazi na različitom položaju u estuariju. Određene biljke se nalaze na područjima izmjene plime i oseke (primarna produkcija je najveća za vrijeme oseke kada nisu pokrivene vodom), dijatomeje (alge) se nalaze na dnu, a fitoplankton lebdi u vodenom stupcu. Takav raspored omogućava kontinuiranu primarnu proizvodnju neovisno o prodoru svjetlosti ili količini suspendiranih čestica u estuariju (Schelske i Odum, 1962.).

Primarna proizvodnja (Slika 10) i količina dostupne svjetlosti povećavaju se prema moru, iako se količina hranjivih tvari smanjuje. Povećanje proizvodnje se primijećuje i prilikom miješanja slojeva u estuariju čime se povećava brojnost fitoplanktona koji je izložen površinskom sunčevom zračenju (Haas i sur., 1981.; Joint i Pomroy, 1981.).

Produktivnost ovisi i o količini prisutnog fitoplanktona u estuariju. Tijekom cvjetanja fitoplanktona, od velike važnosti može biti dostupnost hranjivih tvari, ali sezonske promjene u produktivnosti su pod utjecajem količine prisutnog fitoplanktona i količine svjetlosti koja prodire u estuarij (Cole i sur., 1986.).

Estuariji su jako produktivna područja zbog velike koncentracije nutrijenata. Ako su hranjive tvari ograničavajući faktor za neki od fotosintetskih organizama u estuariju, ograničavaju jako veliki dio primarne proizvodnje cijelog estuarijskog područja. Blato i mulj koji prekrivaju dno estuarija služe kao izvor hranjivih tvari pojedinim organizmima. Da nema tog supstrata na dnu, rast dijatomeja bi se mogao pojačati dodavanjem dušika u vodu. U nekim situacijama hranjive tvari nisu faktor koji ograničava primarnu proizvodnju u estuariju zbog sposobnosti da organizmi koriste njihove atome više puta (turn-over) (Schelske i Odum, 1962.).



Slika 10. Fotosinteza u moru, izvor: Pecko, L. (2018)

### 3.5. Biomasa

Biomasa fitoplanktona može biti povezana sa stratifikacijom, količinom hranjivih tvari i općom cirkulacijom estuarija. Fitoplankton se u većim količinama sakuplja u unutarnjem dijelu estuarija tijekom većeg dijela godine tj. dalje od područja miješanja mora i rijeke (Llebot i sur., 2014.). Maksimalna akumulacija klorofila pronađena je ispod piknokline i u unutrašnjosti estuarija ili blizu dna estuarija (Smith, 2006.).

Fitoplankton je osjetljiv na promjene u okolišu te se njegova biomasa može povećati ili smanjiti ovisno o uvjetima u estuariju na globalnoj (npr. klimatske promjene) i lokalnoj razini (ljudski utjecaj). Kratkotrajni klimatski poremećaji kao što su nagli valovi vrućine ili poplave mogu također dovesti do velikih promjena u biomasi fitoplanktona (Andersson i sur., 1994.).

Hranjive tvari poput dušika i fosfora se smatraju ograničavajućim čimbenicima fitoplanktona i upravljanja eutrofikacijom (Thompson i sur., 1998.). S obzirom na to da je estuarij područje spajanja slatke i slane vode, dušik koji se smatra ograničavajućim faktorom u morima, a fosfor u slatkim vodama, jednako su bitni čimbenici u području estuarija. Ovdje je važno imati na umu sezonalnost jer su istraživanja pokazala da je u estuarijima ograničavajući čimbenik fosfor u proljeće, a tijekom ljeta dušik (Beardall i sur., 2001.; Sipura i sur., 2005.).

Visoke koncentracije hranjivih tvari u vodama estuarija mogu ograničiti prodor i dostupnost svjetlosti za fotosintezu zbog povećanog rasta epifita i makroalgi te cvjetanja fitoplanktona

(Ibanez i sur., 2012.). Rast epifita u pojedinim estuarijima je smanjio biomasu cjelokupnog estuarija za više od 80 % zbog nemogućnosti pravilnog iskorištavanja svjetlosti (Herman i sur., 1999.).

Smatra se da je biomasa fitoplanktona ovisna i o pomicanju morske razine (plima i oseka) te o jačini toka rijeke. Zadržavanje slatke vode za vrijeme plime u estuariju osigurava nakupljanje biomase fitoplanktona i cvjetanje algi, posebice tijekom ljeta, proljeća i jeseni (Cole i sur., 1992.). Za dijatomeje, kao dominantnu skupinu fitoplanktona, ograničavajuće komponente su dušik i fosfor; povećani unos hranjivih tvari rezultira povećanjem biomase dijatomeja, ali i biomase ostalog fitoplanktona (Dominguez i sur., 2005.).

Prilikom određivanja biomase riba u estuariju, ihtiolozi se suočavaju s mnogim problemima. Nedostatan pristup točnim podacima o biomasi riba na prostornoj i vremenskoj skali jedan je od glavnih razloga (Cowley i Whitfield, 2002.). Ako se uspije odrediti biomasa određene vrste u staništu, onda se proizvodni kapacitet te vrste može procijeniti korištenjem omjera proizvodnje po jedinici biomase. Smatra se da je znanje o proizvodnji i postojanoj količini ribe u slatkim vodama naprednije od onoga o ribama u estuariju (Lamberth i Turpie, 2003.). Iako se u određenim zatvorenim sustavima (npr. jezero) mogla odrediti biomasa određenih vrsta, za estuarije se nisu mogle raditi usporedbe proizvodnje ribe za specifično stanišne. Samo se zna da su estuariji poznata mjesta mrjestilišta i rasta riba, bogata hranjivim tvarima koji rezultiraju velikim razinama primarne i sekundarne proizvodnje. Iz toga proizlazi da estuariji podržavaju veliku biomasu riba (Randall i sur., 1995.).

U estuariju su prisutni vrlo promjenjivi uvjeti okoliša koji mogu dovesti do toga da kroz godinu uvjeti ne odgovaraju svim vrstama morskih organizama te zato odlaze ili dolaze u estuarij kada su njima optimalni uvjeti (Day i sur., 1981.). Sve to čini određivanje npr. riblje biomase u estuariju jako teško. Iz istraživanja je već poznato da biomasa riba značajno varira tijekom godišnjih doba i na njih značajno utječu faktori kao što su stanje u estuariju, izlov ribe, količina riječne vode koja ulazi u estuarij te prirodna smrtnost, ali i vrste tehnike za uzorkovanje (Mann i Pradervand, 2007.).

Visoko produktivna slatkovodna ili morska staništa mogu imati slične riblje stokove kao oni koji su zabilježeni u estuariju. Bitno je napomenuti da se ne smiju zanemariti učinci ribolova u pojedinom estuariju (Whitfield, 1996.). Estuariji u kojem se ne lovi ili u blizini kojeg se ne lovi riba, imaju veću biomasu predatorskih riba, ali prema tome i veću ukupnu biomasu riba u usporedbi s obližnjim ribolovnim vodama. Potrebna su daljnja istraživanja prije nego se



biomasa riba i produktivnost uspoređuje s biomasom ostalih vodenih ekosustava (Jenings i sur., 2013.).

### 3.6. Nutrijenti

Nutrijente u estuariju prenose i slatka i slana voda te se smatra da se veća koncentracija nitrata i silikata u estuarij donosi rijekama (Mann, 1972.). Stanje u estuariju se pogoršalo zbog ljudskog utjecaja i unošenja velikih količina hranjivih tvari u estuarij putem anorganskih gnojiva. Nutrijenti se prenose do rijeka koje ih svojim tokom nose u estuarij (Caraco i Cole, 2001.). Povećan unos nutrijenata u estuarij ima štetne posljedice na život u njemu kao što su stvaranje uvjeta hipoksije, štetno cvjetanje algi te na kraju gubitak bioraznolikosti (Herbeck i sur., 2011.). Wolanski i suradnici (2000.) su ustanovili da su se maksimalne vrijednosti nutrijenata u estuariju pokazale tijekom oseke, te su ustanovili da se koncentracija nutrijenata smanjuje sa povećanjem saliniteta. Fisher i Oppenheimer (1991.) smatraju da se ne može sa sigurnošću reći ograničava li i u kolikoj mjeri koncentracija dušika i fosfora proizvodnju fitoplanktona, ali pokazuju da je proizvodnja fitoplanktona ograničena dušikom za vrijeme suša, a fosforom za vrijeme normalnog protoka slatke vode u estuariju.

Antropogeni unos nutrijenata kao što su dušik i fosfor može izazvati povećani rast planktona što za posljedicu ima propadanje vegetacije u estuariju i češće pojavljivanje hipoksije u vodenom sustavu. Postoji i povezanost između sezonskog iskorištavanja otopljenog silicija u estuariju. Posljedica toga je promjena u proizvodnji fitoplanktona i sastavu pojedinih vrsta u estuariju (Anderson, 1986.). Zajednice organizama u estuariju su pod utjecajem makronutrijenata kao što su dušik, fosfor i silicij (Slika 11) (Mallin i sur., 1999.).

#### 3.6.1. Silicij

U estuarijima se silicij javlja kao otopljena silicijeva kiselina ili u obliku čestica (kvarc, aluminosilikati, opal te ostali minerali koji imaju silicij u svojem sastavu) (Drever, 1997.). Silicij se gubi iz estuarija preko adsorpcijskih procesa (Siever, 1971.), a u estuarijima koji se nalaze u umjerenim i tropskim estuarijima koji nisu izloženi prevelikim biološkim procesima, zabilježeno je nakupljanje otopljenog silicija (Burton, 1970.). Silicij je važna komponenta u estuariju koju koriste organizmi za izgradnju svoje čvrste ljuštore. Dijatomeje i spužve u svojoj čvrstoj strukturi sadrže opal (amorfni materijal silicijske kiseline) (Aston, 1980.).

Najveće količine silicija su ustanovljene u zimskim mjesecima, a najniže koncentracije su se očitavale tijekom proljeća, što se podudaralo i sa cvjetanjem dijatomeja. Može se zaključiti da je najmanja koncentracija silicija u proljeće jer ga tada dijatomeje najviše koriste za ugradnju

u svoje ljuštore (Roubeix i sur., 2008.). Dijatomeje mogu stvarati opširne zajednice mikrofitobentosa te mogu pridonijeti do 50% ukupne primarne proizvodnje u estuariju. Ako ima dovoljno otopljenog silicija, dolazi do već spomenutog cvjetanja algi i povećanja njihove populacije, a s time i do povećanja primarne proizvodnje (Jickells, 1998.).

### 3.6.2. Fosfor

Zbog svoje bitne uloge u mnogim procesima u prirodi, kao što su fotosinteza, metabolizam, prijenos energije i izgradnja staničnih stijenki, fosfor je neizostavna komponenta u životu vodenih ekosustava (Karl, 2000.). Pretpostavlja se da se najveće količine fosfora prenose u more preko rijeka. Fosfor koji dođe s kopna u rijeke i mora, prolazi kroz niz promjena uz pomoć anorganskih i bioloških reakcija, ali i preko prirodnih i antropogenih načina. Fosfor može putem rijeke do estuarija doći u obliku čestica ili u obliku fosforne kiseline, koja je ujedno i prevladavajući oblik anorganskog otopljenog fosfora. Fosforna kiselina se mijenja ovisno o pH vode u kojoj se nalazi (Gassman, 1994.; Ruttenberg, 2003.).

Ljudska aktivnost doprinosi unosu fosfora u estuarij estuariju putem kanalizacije, poljoprivrednih sredstava te korištenja deterdženata koji zajedno s otpadnim vodama mogu doći do rijeka i estuarija (Burdige, 2006.).

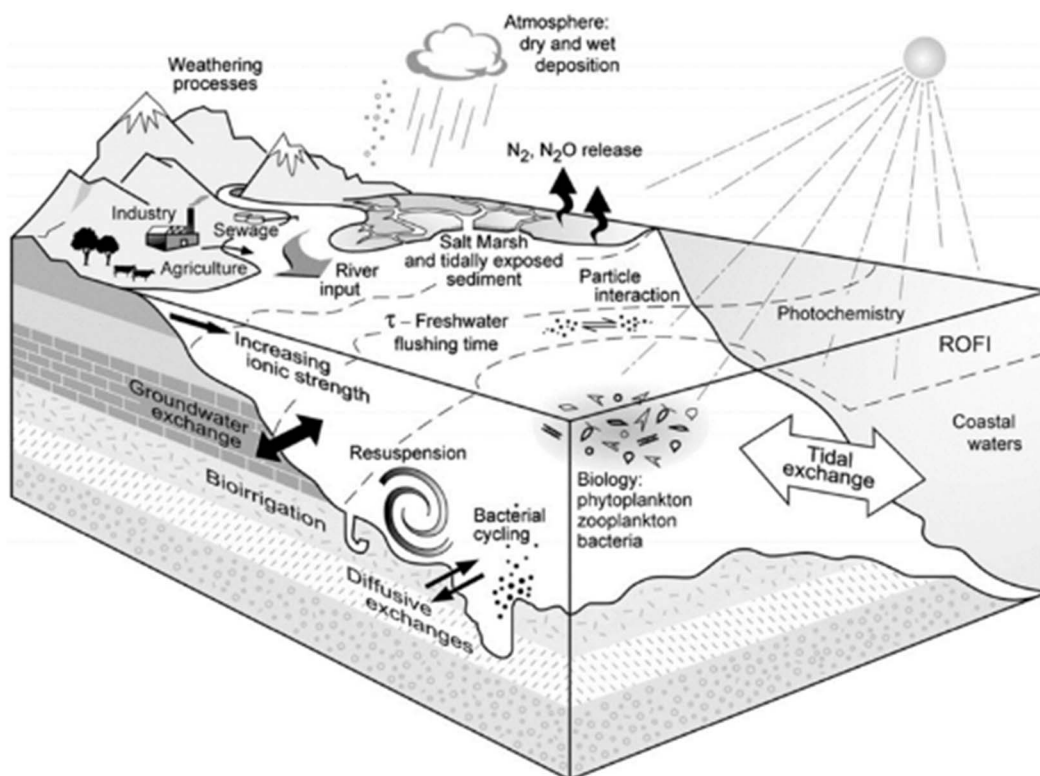
Sediment na dnu estuarija se može koristiti kao izvor ili spremište fosfora. Otopljeni spojevi fosfora u vodenom stupcu mogu prodrijeti u sediment. Pri pojavi anoksičnih uvjeta u estuariju fosfor se oslobađa iz sedimenta, a za vrijeme velike izmjene plime i oseke, može doći do zamućenja estuarija zbog gibanja čestica sedimenata s dna (Deborde i sur., 2007.; Conley i sur., 2009.). Veće količine fosfora se mogu osloboditi zbog povećanja saliniteta te unosa natrijevih i kloridnih iona koje isto tako traže mjesto na kojem će se apsorbirati u estuariju. Oslobođanje apsorbiranog fosfora povećava se s povećanom prisutnosti kloridnih iona (Van Beusek i de Jonge, 1998.; Wang i Li, 2010.).

### 3.6.3. Dušik

Dušik se u vodenim staništima može pronaći u obliku otopljenih anorganskih i organskih spojeva, ali u obliku čestica i plina. U slučaju estuarija, anorganski nitrat je komponenta dušika koja prevladava, a povezana je i s eutrofikacijom sustava (Capone i sur., 2008.). U estuarijima se često mjere i razine amonijaka koji služi kao pokazatelj kakvoće vode, ali i kao posrednik u kruženju organske tvari. U praćenju procesa nitrifikacije te procesa gubitka dušika iz estuarija važni su plinoviti oblici dušika (dušik i dušikov oksid), ali oni se u manjoj mjeri pojavljuju u estuariju (Bronk i sur., 1998.).

Dušik u estuarij može ulaziti kao nusprodukt pročišćavanja otpadnih voda (Howarth i sur., 2000.) ili kao dio vode koja otječe kroz šume ili poljoprivredne površine (Ryther i Dunstan, 1971.). Dušik dolazi u estuarij jednim dijelom i preko atmosfere, podzemnim vodama, ali najvećim dijelom rijekama. Povećanje ili smanjenje koncentracije dušika u estuariju je jako bitna komponenta zbog njegove uloge u primarnoj proizvodnji (Ryther i Dunstan, 1971.). Povećana koncentracija dušika može ubrzati primarnu proizvodnju u estuariju (Howarth i sur., 2000.), ali i ubrzati proces eutrofikacije vodenog sustava te stvaranje hipoksičnih i anoksičnih uvjeta koji za posljedicu imaju stvaranje stresne okoline za ostale prisutne vrste u estuariju (Valiela i Costa, 1988.).

Unos dušika u estuarij preko atmosfere ovisi o potencijalnim izvorima atmosferskog dušika te procesima u prirodi (Paerl, 1997.). Izgaranje fosilnih goriva je jedan od izvora dušika, a u kombinaciji s vjetrom i oborinama iznad mjesta gdje se nalazi estuarij, dušik izravno ulazi u njega (Fisher i Oppenheimer, 1991.). Iz atmosfere se dušik može nakupljati i zbog emisije amonijaka, poljoprivrednih izvora, automobila te tvornica (Paeri, 1995.).



Slika 11. Kruženje makronutrijenata u estuariju, izvor: Statham, P.J. (2012) 214

## 4. Estuariji u Hrvatskoj

Svaka rijeka ima svoj početak i svoj završetak. Dok većina kontinentalnih hrvatskih rijeka svoj završetak pronalazi u pritocima drugih rijeka, rijeke jadranskog sliva se ulijevaju u Jadransko more. Specifičnost „završavanja“ rijeka u moru očituje se u procesu postupnog miješanja dvaju sustava tj. slatke i slane vode, u oba smjera. Rijeka ulazi u more, ali i more ulazi u rijeku te brzina i količina tog postupnog miješanja ovisi o morskim mijenama, jačini valova, količini sedimenta, ali i o ostalim abiotičkim faktorima na tom području (Pikelj i Juračić, 2013.).

Jadran se odlikuje specifičnim ekosustavima u koje ubrajamo zaljeve i male krške estuarije. To su područja sa značajnom količinom fitoplanktona i zooplanktona, što ih čini povoljnim mjestima za razvoj i preživljavanje mlađi riba, školjkaša ili drugih morskih organizama (Balbo i sur., 2006.). Kako i samo ime predlaže, male krške estuarije na području Jadrana stvaraju krške rijeke u uvjetima male plime i oseke (oko 20 cm) te uz dotok slatke vode  $30-70 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ . Iako nijedan estuarij u Hrvatskoj nije identičan, svi dijele zajedničke opće karakteristike, zbog čega ih se zajedno može svrstati pod naziv „krški“ estuarij. More se usijeca u prevladavajuće stijene ovog područja (vapnenac) te zbog malih razlika između plime i oseke, rijeke imaju dominantan utjecaj u estuarijima ovog područja (Juračić, 1987.). Donos sedimenta rijekom nije značajan, jer rijeke u većini slučajeva putuju krškim područjem te se ne stvarju velike naslage u morskom dijelu estuarija. Istra predstavlja iznimku, jer je njezin središnji dio bogat flišom koji je sive boje. Taj fliš se tijekom jakih kiša ispiri i rijeke ga odnose do mora u obliku sedimenta koji može zatrpiti ušća rijeka, ako se donosi u velikim količinama (Vrgoč, 2000.).

Jedna od glavnih karakteristika hrvatskih krških estuarija je stratificiranost s izraženom haloklinom. Teža slana voda ostaje pri dnu, a rječna voda je na površini, koja je u području ušća više boćata nego što je bila prvobitno slatka (Šantić i sur., 2013.). Pojednim vrstama riba estuarij je područje od iznimne važnosti, posebice što se tiče razvojnog i životnog ciklusa (npr. jegulja). Estuarij je njihovo područje za razmnožavanje ili polaganje jaja, nakon čega se vraćaju u svoje prvobitno stanište. Pojedine životinjske vrste imaju ograničen raspon toleriranja saliniteta ili temperature pa im ne odgovara život blizu površine ili u gornjim dijelovima estuarija (Murrell i Lores, 2004.) Kada bi se napravio poprečni presjek estuarija, pri površini bi pronašli većinom riječne ribe, a s porastom dubine, morske ribe. Razlike u gustoći vode na pojedinim dubinama nekim vrstama nisu prepreka u obitavanju u estuariju, tako da se mogu pronaći slatkovodne ribe koje podnose malo zaslanjenu (boćatu) vodu (Platt i sur., 1983.). Velik

broj morskih riba na estuarij gleda kao na produžetak svog morskog staništa, zbog sposobnosti da dobro podnose boćatu vodu. Neke morske ribe dolaze u estuarij te provode cijeli svoj život u njemu, iako nisu vezane za njega (razmnožavanjem). Takve ribe čine 70% riba estuarija (primjerice gavun oliga (*Atherina boyeri*), veliki gavun (*Atherina hepsetus*) i špar (*Diplodus annularis*)). Nasuprot tome, određene vrste riba barem jednom tijekom svog života napuštaju estuarij (najčešće zbog mrijesta) (cipal zlatac (*Liza aurata*) i cipal balavac (*Liza ramada*)) (Surić, 2009.).

Estuariji su područja u kojima se mlađ riba i ostalih organizama hrani i raste, u zaklonu od predatora, a uz obilje hrane. Male ribe nakon što se izmrijeste u moru, u estuariju traže hranu i nalaze zaklon od potencijalne opasnosti. Kada narastu, vraćaju se u more (Šolić i sur., 2015.). Morske ribe u estuarij dolaze u periodu ranog proljeća i kasnog ljeta, što se poklapa s vremenom najvećeg mrijesta riba u Jadranskom moru. Što se tiče jadranskih vrsta koje žive isključivo u estuariju (ne podnose ni isključivo riječne ni isključivo morske uvjete), broj vrsta je malen te se svodi na male kriptobentičke ribe iz porodica glavoča i babica (glavočić kaljužar (*Pomatoschistus marmoratus*), glavoč travaš (*Zosterisessor ophiocephalus*), babica kukmašica (*Lypophrys pavo*)) (Felja, 2017.). U estuarijima na području Jadrana i Sredozemnog mora prevladaju zajednice biljaka koje podnose ekstremne uvjete i visoke koncentracije soli, uz povremena isušivanja za vrijeme oseke (halofiti) (Vrgoč, 2000.). Estuariji su značaja staništa i za pojedine grupe ptica (prutke, kulici i žalari) koje se zajedno odlikuju dugim nogama i dugim kljunom pomoću kojeg traže hranu po plitkoj obali. Na Jadranu ih često susrećemo u vrijeme seoba, a velik broj je prisutan i u zimskim mjesecima. Zbog česte gradnje uz obalu te isušivanja, područja kao što su estuariji su sve rjeđa na Mediteranu, koliko god značajni bili za velik broj životinjskih organizama (Murrell i Lores, 2004.).

Sliv je područje s kojeg sve vode otječu prema određenom moru, oceanu ili jezeru. Sve rijeke koje teku Hrvatskom pripadaju ili crnomorskom ili jadranskom slivu, razdjeljuje ih gorski lanac Dinarida. Jadranski sliv zahvaća površinu od 235 000 km<sup>2</sup> (38% površine Hrvatske) s prosječnom nadmorskom visinom od 782 m. Grubo ga se može podijeliti na istarski poluotok, jadranski sliv u Lici i Dalmaciju. Velike slivove imaju rijeke koje se ulijevaju u Jadransko more, npr., Zrmanja, Krka i Cetina, s površinom sliva većom od 1000 km<sup>2</sup>. Za razliku od rijeka crnomorskog sliva, za rijeke jadranskog sliva je karakteristično da su znatno kraćih površinskih tokova i izolirane, ali manjak u dužini nadoknađuju značajnim podzemnim tokovima. U krškim poljima su česte rijeke ponornice, čiji nadzemni dijelovi u toplijim dijelovima godine znaju potpuno presušiti. Njihov podzemni sustav vodotoka i zaliha vode tijekom godine nikad ne

presušuje te na taj način omogućava preživljavanje organizama koji ih nastanjuju. Jadranski sliv nastanjuje 86 ribljih vrsta, od kojih 19 naseljava i crnomorski i jadranski sliv, a preostalih 67 su većinom endemi koji preferiraju vode jadranskog sliva. Kvaliteta vode u blizini ušća je još jedna karakteristika koja razlikuje rijeke jadranskog od rijeka crnomorskog sliva. U blizini ušća rijeka jadranskog sliva, miješa se slatka voda sa slanom morskom vodom te se takve vode nazivaju prijelaznim ili boćatim vodama (URL 11: Hrvatske vode).

Područja prijelaznih voda u Hrvatskoj određena su na osnovi definicije pojma prijelaznih voda prema članku 2. Okvirne direktive o vodama (WFD 2000/60/EC), u kojoj pojam „Prijelazne vode“ označava cjeline kopnenih voda u blizini riječnih ušća koje su djelomično slane uslijed blizine priobalnih voda (URL 11: Klasifikacija prijaznih voda). Takvo stanje je karakterizirano pojavom saliniteta većeg od 0,5 na granici sa slatkom vodom u gornjem dijelu vodenog toka, a u području estuarija je granica definirana poveznicom između suprotnih obala ušća ili pojavom halokline. Zajednička karakteristika prijaznih područja jadranskog sliva je pojava visoke stratifikacije, koja ovisi o salinitetu, količini hranjivih tvari, udjelu kisika te sastavu planktonskih zajednica. Ni u jednom području oscilacije plime i oseke nisu dovoljno velike ni jake da bi uzrokovale značajno vertikalno miješanje vodenog stupca. Debljina gornjeg sloja je promjenjiva, i u najvećoj mjeri ovisi o količini protoka rijeke, i karakteristikama estuarija. U jadranskom slivu prepoznato je deset područja prijelaznih voda, u estuarijima: Dragonje, Mirne, Raše, Rječine, Zrmanje, Krke, Jadra, Cetine, Neretve i Omble (URL 12: Klasifikacija prijelaznih voda).

#### 4.1. Estuarij rijeke Dragonje

Rijeka Dragonja (Slika 12) duga je 28 km sa slivnom površinom od 95,6 km<sup>2</sup>. Srednji godišnji protok u gornjem je toku 0,29 m<sup>3</sup>/s, a pri ušću 1,78 m<sup>3</sup>/s (Vrhovšek, 1989.). Nakon spajanja kraj Škrlina, Dragonja teče po nešto široj dolini, od Kaštela nizvodno uz rub bujskoga krasa i zatim se umjetnim koritom na južnom rubu sečoveljskih solana ulijeva u Piranski zaljev (Slika 17). U Dragonju utječe 18 desnih i 13 lijevih pritoka. Rijeka ljeti često presuši, a pri većim kišama zimi vodostaj brzo naraste pa rijeka poplavljuje okolno područje. Rijeka Dragonja je granična rijeka između Slovenije i Hrvatske i najveća je rijeka na slovenskoj obali koja se ulijeva u Jadransko more. Važno je napomenuti da je rijeka Dragonja jedna od malog broja nezagađenih rijeka u Sloveniji, jer jedina ne teče kroz naselja, ali je i jedina rijeka koja je duboko urezana u mekanu flišnu podlogu te sasvim teče preko flišnog terena (Vrhovšek, 1989.).



Slika 12. Tok rijeke Dragonje, izvor: Petan i sur., (2008.)

Estuarij rijeke Dragonje je područje za koje je bilo planirano da dobije status krajobraznog parka zbog zaštite prirodnih ekosustava koji se u tom području javljaju, ali i njihovih živućih komponenti. Organizmi koji žive u tom estuariju podvrgnuti su velikim varijacijama u životnim uvjetima (Ogorelec i sur., 1981.). Promjene u okolišu su u većini slučajeva uzrokovane plimom i osekom te godišnjim dobima, uz sezonski veći ili manji donos slatke vode u estuarij. Za područje ovog estuarija nisu nepoznate niti rijetke promjene stanja i uvjeta u okolišu za organizme uzrokovane olujnim plimama i osekama (Fairbridge, 1980.). Promjena temperature vode u estuariju prati promjene temperature zraka tijekom godine, te su najviše temperature zabilježene u srpnju (20,5°C), a najniže u siječnju (6,7°C). Istraživanja vodljivosti u estuariju u pokazala da se taj faktor povećava ili smanjuje u odnosu na dotok morske vode u riječno ušće. Slično kao i s temperaturom, najveća vodljivost je zabilježena u srpnju (15,700 μS/cm), a

najniža u siječnju (1,780  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Obrnuto proporcionalno vodljivosti i temperaturi, izmjerena koncentracija otopljenog kisika je imala najveću vrijednost u siječnju (13,7 mg/L), a najnižu vrijednost u srpnju (8,5mg/L). Vrijednosti pH su se kretale u rasponu 7,45-7,76 (Hobby i Minneboo, 2001.). Morfologija estuarija rijeke Dragonje se znatno promijenila pod utjecajem čovjeka, krčenje šuma uzrokovalo je eroziju znatne količine finog sedimenta s obronaka te njihovo naknadno taloženje u dolini (Globevnik, 1998.).

#### 4.2. Estuarij rijeke Mirne

Rijeka Mirna dugačka je 53 km, sa izvorom u jugozapadnom dijelu Ćićarijskoga pogrđa u flišnim, pretežno nepropusnim naslagama. Srednji godišnji protok izračunat za ušće je 9,4 m<sup>3</sup>/s. Mirna nosi znatne količine suspendiranog sedimenta koji nastaje kao rezultat intenzivnog trošenja fliških naslaga (Pavelić, 2005.). Povećanje u prijenosu materijala rijekom se očituje više tijekom kišnih razdoblja nego tijekom sušnih jer je tada veća koncentracija suspendiranog materijala u riječnoj vodi. Zbog toga se smatra da Mirna ima povremeni (epizodni) donos materijala (sitnozrnati materijal sa značajnim udjelom minerala glina), jer je donos materijala značajan samo u kišnim razdobljima (Furlani i sur., 2014.). U donjem dijelu estuarija dolazi do progradacije ušća prema moru jer je donji dio riječne doline usječen u istarsku karbonatnu zaravan. Dio doline koji je u prošlosti bio usječen dublje od današnje morske razine sada je ispunjen i zaravnjen aluvijalnim sedimentima, uzevši u obzir da je u pretholocenskom razdoblju razina mora bila i do 120 m niža nego što je danas. Završetak posljednjeg glacialnog maksimuma (oko 1900 godina prije sadašnjosti) ostavio je iza sebe brojne posljedice, od kojih je jedna bila ta da su se veliki ledeni brjegovi počeli topiti, a s time se počela i podizati razina mora (Milotić, 2004.). Velike površine obalnih područja su poplavile, među kojima su bile i usječene riječne i ledenjačke doline jadranskog bazena. Nastali su duboki krški estuariji (npr. estuarij Neretve i Mirne). U odnosu na taj izniman porast morske razine, tijekom posljednjih 7000 godina porast razine mora je usporio, što je omogućilo da se stvoreni duboki estuariji ispune aluvijalnim sedimentima te stvaranje estuarijskih delti (Juračić, 1992.).

Estuarij rijeke Mirne je primjer stratificiranog estuarija s klinom morske vode. Jedna od pozitivnih karakteristika takvog tipa estuarija je da se zbog stvaranja pridnene protustruje morske vode zadržava terigeni riječni materijal, tako što se čestice koje se talože iz površinskog boćatog dijela vraćaju prema rijeci (Pavelić i sur., 2014.). Smatra se da će estuarij rijeke Mirne u budućnosti postati delta (Slika 13), tako što će sav riječni materijal ispuniti dolinu. To podupire i činjenica da se i sada estuarij Mirne svrstava u krške estuarije s progradacijom



estuarijske delte, na temelju postojanja poluzatvorenog vodenog tijela u ušću Mirne (Furlani i sur., 2014.).

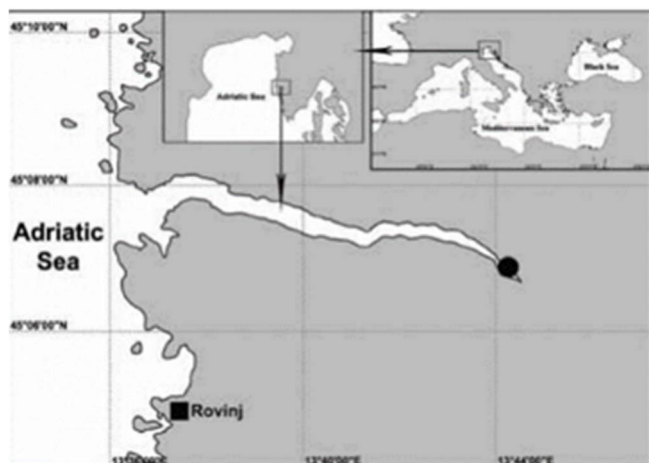


Slika 13. Estuarij Mirne, izvor: <https://www.coloursofistria.com/hr/priroda-kampovi/prirodne-ljepote/usce-rijeka-mirne-posebni-ornitoloski-rezervat>

Ušće rijeke Mirne zajedno s Tarskom valom (plitki zaljev na zapadnoj obali Istre) čini područje koje je bogato biljnim i životinjskim svijetom, od kojih su brojni zakonom zaštićeni. Na tom području svoj dom pronalaze brojni vodozemci, gmazovi, sisavci te više stotina ptica. To je važno područje za ptice vodenih staništa jer na toj lokaciji pronalaze stanicu za seobu, prizemljavanje i gniježđenje (Vaniček i sur., 2000.). Da bi ptice nastavile neometano svoje životne cikluse, područje ušća Mirne i Tarske vale bi uskoro trebalo postati poseban ornitološki rezervat kako bi se formalno mogla očuvati bogata raznolikost ptica koje tu obitavaju ili ponekad posjećuju. Prilikom proglašenja rezervata, biti će zaštićeno i samo močvarno područje, koje je jedno od rijetkih preostalih na Mediteranu (Rovere i sur., 2016.).

#### 4.3.Limski kanal

Limski kanal čini smo jedan dio Limske udoline, dugačke 35 km. Može se definirati kao rijas, morski zaljev nastao potapanjem donjega dijela riječne doline kojom je tekla rijeka Pazinčica, ulijevajući se u more (Slika 14). Događaji kroz povijest su imali značajan utjecaj na ovu potopljenu riječnu dolinu te se u potpunosti promijenio krajolik (Paytan i sur., 2003.). Dužine je 12 km i širine manje od 600 m, a maksimalna dubina iznosi oko 33 m. Jedna od njegovih specifičnosti su njegove strane na kojima se uzdižu strma brda, na nekim dijelovima visoka i do 200 m. (Lazzari i Baldisserotto, 2008.). Ovaj poluzatvoreni morski sustav ima značajnu ulogu prirodnog mrjestilišta školjaka (Carpenter i sur., 1998.).



Slika 14. Limski kanal u Istri, izvor: Nerlović i sur., (2012.)

U određenim razdobljima kroz godinu dolazi do izmjena onečišćene vode u kanalu s čistim otvorenim morem, pod utjecajem plime i oseke, tako da morske mijene zajedno s valovima služe kao alat prozračivanja kanala. Zbog donosa organske tvari iz podzemnih voda i potoka koji se ulijevaju u Limski kanal, on je svrstan u kategoriju eutrofičnih područja (Kibria i sur., 1996.). Na stanje u kanalu utječu i kopnene i morske vode pa ono može znatno varirati. Zabilježene su varijacije u temperaturi tijekom godine od 9° do 25°C te varijacije u salinitetu 9-35. Takvi varijabilni uvjeti čine Limski kanal posebnim po biljnom i životinjskom svijetu koji tamo obitava. U Limskom kanalu su prisutna uzgajališta riba (lubin - *Dicentrarchus labrax* i komarča - *Sparus aurata*) i školjkaša (Bonacci, 1999.). U ovom slučaju je bitno naglasiti da je iskoristivost hrane od strane riba od velike važnosti. Nepojedena hrana izravno opterećuje okoliš u kojem se nalazi, a dodatno opterećenje sustava se stvara hranjivim solima (fosfor i dušik) koji u vodeni sustav, osim dotokom iz površinskih voda, dospijevaju u obliku ribljeg fecesa, nepojedene hrane te metabolizma riba (Šantić i sur., 2013.). Povišene koncentracije anorganskog oblika fosfora u sedimentu Limskog kanala mogu se objasniti prisustvom uzgoja riba, a s tim i brzom remineralizacijom lako razgradivih metabolitičkih produkata riba (nepojedena hrana koja se taloži na dnu). Jedna od sljedećih opcija koja može biti uzrok povećanom udjelu fosfora je i pretvorba organskog fosfata tijekom dijageneze u neke od anorganskih spojeva (npr. ortofosfat sa kalcijem iz mora stvara netopivi talog) (Kuzmić i sur., 2006.). Istraživanjem je ustanovljeno da u dubljim dijelovima Limskog kanala prevladava mulj koji je bogat organskom tvari, a u dijelovima koji su plići, osim gline i silta, nalaze se i čestice šljunka i pijeska s manje organske tvari nego mulj (Bardin i Pont, 2002.).

U mjesecu studenom se zbivaju najveće promjene u miješanju vodenog stupca zbog promjena u temperaturi, pa niža temperatura pogoduje potpunijem miješanju vodenog stupca.

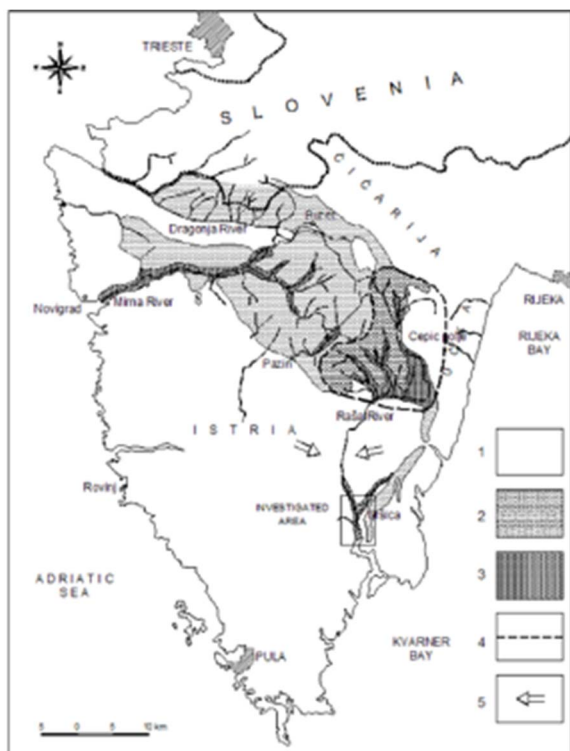
To rezultira povećanjem saliniteta na istraženom području Limskog kanala, u površinskom sloju te u srednjem i pridnenom sloju. U pridnenom sloju zabilježene su manje vrijednosti zasićenosti kisikom jer prevladavaju procesi remineralizacije organske tvari. Krajem studenog vodeni stupac Limskog kanala je bio toliko izmiješan da se pridnene vrijednosti nisu razlikovale od srednjeg ili površinskog sloja (Pikelj, 2013.; Fiket i sur., 2018.). Mogući razlog zašto stratifikacija nije posebno izražena u ovom području je intenzivna cirkulacija mora u Limski kanal i izvan njega pod utjecajem morskih mijena, ali i drugih horizontalnih oscilacija (npr. seše) (Halamić i sur., 2012.).

#### 4.4. Estuarij rijeke Raše

Dolina rijeke Raše i njezino ušće nalaze se na istočnom dijelu istarskog poluotoka (sjeveroistočna obala Jadranskog mora) (Slika 15). Rijeka Raša je duga 23 km sa slivnom površinom od 279 km<sup>2</sup>. Karakteristična odlika rijeke Raše je da prenosi većinom sitnozrnat materijal (pretežito glinene čestice) suspendiran u riječnoj vodi, koji nastaje kao posljedica intenzivnog trošenja flišnih eocenskih naslaga u gornjem toku rijeke (Benac i sur., 1991.).

Estuarij rijeke Raše je primjer neuravnoteženog estuarija jer postoje kontinuirane morfološke promjene uzrokovane progradacijom ušća u uvjetima relativno stabilne razine mora (male izmjene plime i oseke). Do intenzivnog taloženja sedimenata dolazi u uvjetima malih amplituda plime i oseke te niske energije valova. Prosječna stopa sedimentacije terigene tvari iznosi oko 78 000 t/god, a prosječna stopa taloženja 0,15 m/god (Sondi i sur., 1995.). Dolina rijeke Raše se smatra jednom od najboljih lokacija za gradnju luka i industrijski razvoj, na području sjevernog Jadrana. U ovom slučaju je bitno napomenuti da će za bilo koju buduću gradnju na tom prostoru problem stvarati geotehnička svojstva sedimenta na dnu, tj. mulj i glina (slijeganje tla). Klimatske promjene, zajedno sa tektonskim pokretima i brzim promjenama razine mora, uzrokovale su današnji oblik estuarija Raše (Velić i sur. 1995.).

Ušće rijeke Raše formirano je za vrijeme holocena, kada je došlo do porasta razine mora te je dolina rijeke, koja je bila urezana u karbonatne stijene, poplavljena morem. Nakon što je došlo do stabilizacije razine mora, prije oko 6000 godina, ušće rijeke Raše se je postupno počelo puniti (Medunić i sur., 2016.). Tijekom zadnjih 240 godina, zbog intenzivne sedimentacije, ušće rijeke Raše je pomaknuto za otprilike 4 km. U gornjem dijelu rijeke prevladavaju flišni sedimenti (lapor i pješčenjaci), u kojem i nastaju velike količine sitnozrnatog materijala kao rezultat trošenja flišnih sedimenata, koji se onda kasnije rijekom nose do estuarija (Benac i sur., 1991.).



Slika 15. Rijeka Raša na istarskom poluotoku, izvor: Rubini (2004.)

Dolaskom nošenog sedimenta u more, naglo se smanjuje kinetička energija materijala te nastaju pogodni uvjeti za sedimentaciju rijekom nošenog sitnozrnatnog materijala. Većina materijala se taloži na mjestu gdje se rijeka spaja s morem te se sedimentacija ne proteže većim dijelom prema morskom dijelu (brzina sedimentacije u donjim dijelovima estuarija je mala) (Pikelj i Juračić, 2013.). Na samom ušću Raše formirana je riječna terasa koja blago tone prema jugu. Područje estuarija je izduženog oblika te se prostire u istom smjeru kao i sliv rijeke Raše. Sedimentacija na tom području je toliko intenzivna da je zabilježeno oplićavanje morskog dna za 4-5 metara u posljednjih 30 godina (15 cm/ godišnje), pokraj obale u Bršici (Šolić i sur., 2015.). Strujanje vode u ovom estuariju ostavlja vizualne posljedice i na obalu, tj. vidljiva je povećana koncentracija suspendiranog materijala uz desnu stranu obale estuarija (Slika 16). Povećanom gomilanju suspendiranog materijala pridonosi i činjenica je nagib dna manji uz desnu stranu obale nego uz lijevu. Intenzivnije zatrpavanje desne strane je, prema tome, izazvana zajedničkim djelovanjima procesa fluktuacije estuarijske vode i sedimentacije materijala donošenog rijekom Rašom (Levin i sur., 2001.).



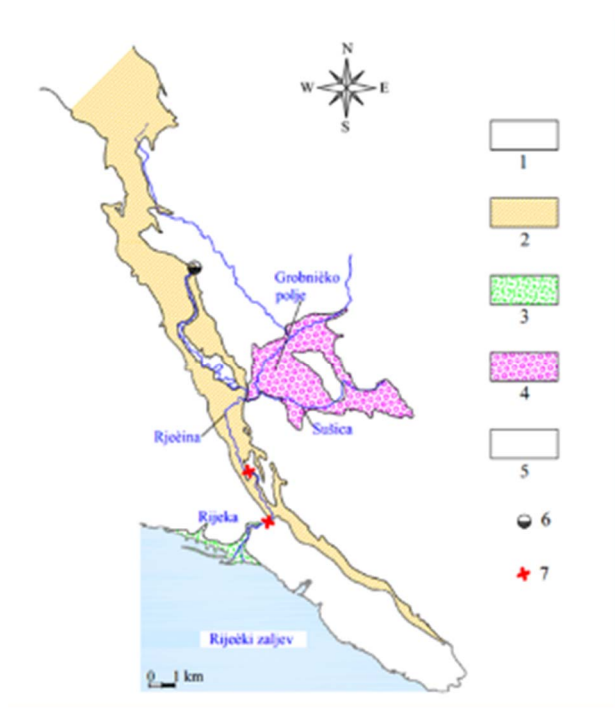
Slika 16. Orto-foto karta ušća Raše, izvor: Benac i sur., (2017.)

Kemijski sastav vode u estuariju Raše je većinom pod utjecajem riječne vode bogate suspendiranim česticama, koja se zatim miješa s morskom vodom. U manjoj mjeri je kemijski sastav estuarija pod utjecajem antropogenih aktivnosti. Istraživanja sedimenta estuarija pokazala su da su u sedimentu na tom području prisutni kobalt, krom, molibden i nikal. Razlog njihove pojave u sedimentu je vjerojatno kombinacija prirodnih i antropogenih čimbenika u slivu rijeke Raše. Iako je koncentracija ovih elemenata u estuariju umjerena, ne bi trebala biti zanemarena (Cusak i sur., 2014.). Prilikom istraživanja geokemijskog sastava vode i sedimenta, također je utvrđeno oslobađanje određenih elemenata, kao što su krom, molibden i arsen. Takav zaključak nagovještava da bi sediment u estuariju Raše mogao biti izvor ovih elemenata. Čak i da su koncentracije ovih elemenata u sedimentu vrlo niske, njihov prijenos u intersticijalnu vodu, između čestica sedimenta, te nadalje u vodeni stupac, može imati štetan učinak na život estuarijskih organizama koji ga nastanjuju (Lazzari i Baldisserotto, 2008.). Estuarij Raše je dinamičan sustav koji je podložan brzom sedimentaciji te u podzemnom sedimentu već vladaju redukcijski uvjeti. Zbog toga je važno stalno pratiti ukupan sadržaj elemenata u vodi i sedimentu, ali i oblike koji mogu nastati iz već postojećih elemenata u vodi te uzrokovati značajne posljedice na stanje u estuariju (Pavelić, 2005.). Srednja veličina čestica, koje su nošene rijekom te se talože u estuariju, iznosi između 3,0  $\mu\text{m}$  i 8,1  $\mu\text{m}$ . Udio karbonata u estuariju je između 19 i 46 %. Više od 90% ukupnog donesenog tereta čini sitnozrnata suspendirana tvar, od koje je samo 24-36 % karbonata, a sve ostalo čine čestice mulja i gline.

Takva vrsta sedimenta se najviše akumulira na početku estuarija te uzrokuje progradaciju estuarija i promjenu obale. Na slanom klinu dolazi do sedimentacije, što rezultira progradacijom ušća (Surić, 2009.).

#### 4.5. Estuarij rijeke Rječine

Rijeka Rječina je kratka krška rijeka, duga je 19 km sa slivnom površinom od 246 km<sup>2</sup>. Smještena je u sjevernom primorskom dijelu Hrvatske i ulazi u Jadransko more u urbaniziranom centru grada Rijeke (Slika 17). Rječina je najizdašnija rijeka na vodnom području primorsko-istarskih slivova. Karakteriziraju je velike sezonske oscilacije, pri kojima se maksimalni protok vode bilježi u zimskim mjesecima, a minimalni u ljetnim. Pojava međudnevni oscilacija u donjem toku rijeke nije strana, najvećim dijelom zbog periodičnog rada hidro-elektrane Rijeka (Krvavica i sur., 2017.). Dnevne amplitude plime se kontinuirano kreću od južnog Jadrana prema Sjevernom, tako da je srednja dnevna amplituda na estuariju Rječine zabilježena na oko 30 cm (Žic i sur., 2012.).



Slika 17. Pregledna geološka karta sliva Rječine, izvor: Vivoda i sur., (2012.)

Alogena je krška rijeka koja samo u donjem toku ima duboko usječen kanjon kojim presijeca karbonatne naslage dinarskog pravca pružanja. Donos i taloženje sedimenta u estuariju je velik. Većina sedimenta koji se talože u ušću rijeke Rječine (Slika 18) uglavnom su doneseni riječnim tokom iz zaleđa, smatra se da potječu iz fliša ili fluvioglacialnih naslaga. Ostale čestice sedimenta su nastale ispiranjem karbonatnog materijala s okolnih uzvišenja

(Kurup i sur., 1998.). Na dnu estuarija su zabilježene horizontalne i vertikalne promjene između sitnozrnatih i krupnozrnatih čestica, što svjedoči o različitim uvjetima taloženja kroz povijest. Danas se na dnu estuarija Rječine, na području spajanja rijeke i mora, nalaze pjeskovito-prašnjasti sedimenti, što znači da se taloženje odvijalo u vodama koje imaju malu brzinu (Ibanez i sur., 1997.). Taloženje se zbiva pri izloženosti sedimenata morskim strujama i valovima, tako što se sitne pjeskovite i prašnjaste čestice talože uz obalu, zbog dinamike morskih mijena i valova. Vodeni režim u srednjem i donjem toku Rječine se je značajno promijenio 1969. godine, nakon izgradnje brane Valić od 35 m, te nakon formiranja akumulacije od 0,47 milijuna m<sup>3</sup>, blizu grada Grohova (Žic i sur., 2012.).



Slika 18. Estuarij Rječine, izvor: Krvavica i sur., (2013.)

Djelatnost čovjeka je kroz povijest ostavila značajne promjene na području ovog ušća. Područje oko donjeg toka Rječine je viđeno kao lokacija koja ima znatan potencijal za urbani razvoj. To za sobom nosi moguće probleme za estuarij Rječine, jer ako se velike količine vode iz rijeke bude iskorištavala u svrhu navodnjavanja ili korištenja pitke vode, smanjit će se dotok slatke vode u estuarij, a s time i količina donošenog sedimenta i hranjivih tvari (Rubinić i Ožanić, 1997.). Prodor slane vode uzvodno od estuarija može imati negativne utjecaje na slatkovodne resurse koje se nalaze u blizini ušća. Tu se ističe izvor Zvir, posebice ako se podigne razina mora, čime će se smanjivati količine raspoložive slatke vode. Ako bi se htjela iskorištavati voda iz rijeke, morala bi se analizirati voda zbog prisutnosti miješanja i prodora morske vode u Rječinu (voda koja se koristi mora imati dovoljno nizak salinitet) (Munda i sur., 2009.). Razlog tome je što prisutnost klorida u vodi utječe na njenu kvalitetu te je voda

neupotrebljiva za komunalne ili poljoprivredne svrhe. To analiziranje vode bi moglo stvarati problem, budući da interakcija slatke i slane vode uključuje niz složenih procesa koji još nisu dovoljno razjašnjeni. Neke od metoda koje se danas koriste su: regresijske metode, empirijski izrazi, fizikalni modeli, 1D modeli stratificiranih protoka i 3D numerički modeli. Iako su sve metode različite, svima im je zajedničko da se moraju provoditi terenska mjerenja u kojima se bilježi i mjeri niz parametara (Mihalić i sur., 2010.).

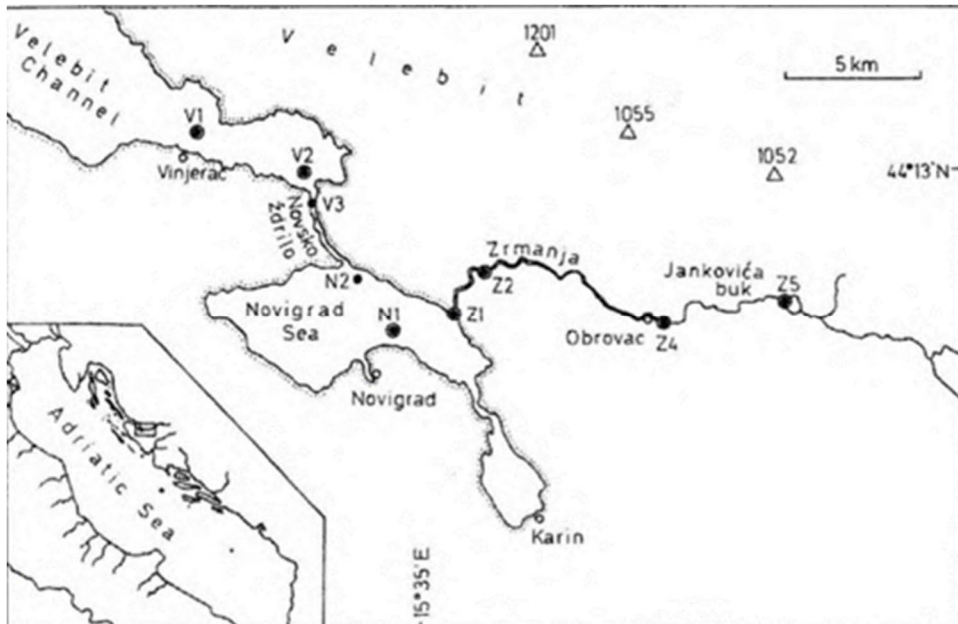
U estuariju Rječine, koji je tipičan primjer mikro-plimnog estuarija, stabilni uvjeti se lako postižu zbog relativno kratke duljine rijeke, dotok slatke vode je dobro kontroliran kroz godinu te su plimne oscilacije gotovo zanemarive. Estuarij Rječine je stratificiran, sa slanim klinom, čija je dinamika jako složen proces jer na njega podjednako utječu i rijeka i more. Dinamika plime i oseke nije dovoljno jaka da izazove bilo kakvo značajno miješanje slane i slatke vode, a slojeviti vodeni stupac je skoro nepromjenjiv za vrijeme svih uvjeta strujanja koji se mogu dogoditi u estuariju (Arbanas i sur., 2011.). Karakterističan je po vrlo kratkom području interakcije slane i slatke vode (maksimalna duljina slanog klina je manja od 1 km), značajnim sezonskim plimnim i dnevnim oscilacijama protoka te protoku po neravnoj i strmoj padini korita. Slani klin u estuariju Rječine prisutan je u svim hidrološkim uvjetima te je za njegovo formiranje dominantno zaslužan protok slatke vode Rječine u more (Cenedese i Adduce, 2010.). Utjecaj izmjene plime i oseke ima sporedan utjecaj na formiranje slanog klina, ali nikako nije zanemariv. Najveći salinitet, izmjeren u razdoblju plime, u estuariju je zabilježen pri protoku slatke vode od  $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , za vrijeme kojeg je dužina slanog klina bila 710 m (Kay i Jay, 2003.). Istraživanja su pokazala da je slani klin u estuariju gotovo trenutno reagirao na promjene u protoku rijeke u more, pri čemu se je kretao uz ušće dok nije bila postignuta ravnoteža (do dubine čija je gustoća sada odgovarala gustoći (salinitetu) klina). Stratifikacija je i dalje bila postojana, čak i tijekom povećanja protoka slatke vode te su varijacije u gustoći bile zanemarive u slatko i u slanom sloju. Iako estuarij se nalazi u mikro-plimnom morskom okruženju, također je otkriveno da se vrh slanog klina pomiče uzvodno tijekom plime i nizvodno za vrijeme oseke (Rubinić i Sarić, 2005.).

#### 4.6. Estuarij rijeke Zrmanje

Rijeka Zrmanja je oligotrofna rijeka, duga 69 km, koju karakteriziraju niske koncentracije hranjivih tvari, a s time dolazi i do slabijeg razvoja dijatomeja i ostalih predstavnika fitoplanktona. Iako sama ima nisku koncentraciju hranjivih tvari (siromašna), smatra se da je i dalje jedini značajan izvor hranjivih tvari koji potiče produkciju u Velebitskom kanalu (Halamić



i sur., 2012.). Estuarij Zrmanje nastaje ulijevanjem rijeke Zrmanje u Novigradsko more (Slika 19) čija je prosječna dubina 28 m. U estuariju prevladava fitoplankton manjih veličina. U razdoblju od prosinca do travnja javlja se najveći dotok vode u estuarij ( $65 \text{ m}^3/\text{s}$ ), a s time i najniži salinitet. Godišnja temperatura varira od  $6,7$  do  $26,6 \text{ }^\circ\text{C}$  (srednja  $16,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ), dok se salinitet kroz godinu kreće od 0 do 38 (prosječno 19) (Lamaire i sur., 2002.).



Slika 19. Lokacija rijeke Zrmanje i estuarija, izvor: Viličić i sur., (1999.)

Estuarij Zrmanje je visoko stratificirani estuarij. Estuarij je stratificiran kroz većinu godine zbog visokog riječnog dotoka. Tome ide u prilog i činjenica da je Novigradsko more poluzatvoreno te je estuarij Zrmanje pod manjim utjecajem valova i morskih struja (mikroplimni estuarij) (Viličić i sur., 2001.). Potrebno je oko dva dana tijekom zime da se izmijeni voda iznad halokline u estuariju, dok je u ljetnim mjesecima potrebno oko šest dana. To rezultira jačim razvojem fitoplanktona u gornjem dijelu estuarija ljeti, a u donjem dijelu estuarija zimi. Donji dio estuarija je proširen u Novigradsko i Karinsko more (Marchetti i sur., 2004.). Estuarij je bogat zooplanktonom, kojim se hrani mala plava riba pa i nje ima u većim količinama na tom području, posebice incuna. Incun nakon spolne zrelosti napušta estuarij te se kreće prema moru u dublje slojeve (Bonacci, 1999.).

S obzirom na to da estuarij karakterizira izražen gradijent temperature, saliniteta, pH i sastava čestica, estuarij se često ponaša kao zamka za materijal koji donosi rijeka, što uključuje i antropogene zagađivače (Burić i sur., 2005.). Ušće rijeke Zrmanje je prvenstveno kontrolirano prirodnim čimbenicima, od kojih se izdvajaju: sastav temeljne stijene, postojeći hidrodinamički uvjeti i izoliranost Novigradskog mora, u koje se ulijeva (Halamić i sur., 2012.). Uz sve to, nije

zanemariv antropogeni utjecaj na okoliš. Na temelju prostorne i vremenske raspodjele glavnih elemenata i elemenata u tragovima u sedimentu, utvrđeni su neki čimbenici koji utječu na sedimentaciju u estuariju. Jedan od glavnih čimbenika je izgradnja hidroelektrane Velebit koja je prouzročila promjenu nizvodnog režima rijeke Zrmanje. To je za rezultat imalo taloženje finih čestica dalje nizvodno. Nadalje, materijal se prenosio i vjetrom (bura) u rijeku iz područja bivše tvornice Jadral. Amplitude plime i oseke su u tom području dosta slabe (10-13 cm), dok je okolica slabo naseljena i bez znatnijeg antropogenog utjecaja, što pogoduje umjerenom razvoju fitoplanktona, niskim koncentracijama klorofila te visokim sadržajem kisika u estuariju (Bardin i Pont, 2002.).



Slika 20. Estuarij Zrmanje, izvor: Goran Šafarek

U estuariju (Slika 20), salinitet i temperatura su važni čimbenici koji utječu na raspodjelu algi. Visoka prozirnost u estuariju Zrmanje rezultirala je uspješnim razvojem dijatomeja. Poneke vremenske nepogode te njihov intenzitet, npr. padaline, čine ovaj estuarij osjetljivim na jesensko i ljetno cvjetanje algi (Olujić i sur., 2007.) Zajednice fitoplanktona većinom čine dijatomeje. *Pseudo-nitzschia* spp. su dominantne dijatomeje u ušću rijeke Zrmanje, prisutne u 51% uzoraka na godišnjoj bazi, s maksimalnim obiljem od veljače do travnja (Levin i sur., 2001.). Najveće koncentracije ukupnog anorganskog dušika i silikata

izmjerene su iznad 4 m dubine. Najveće koncentracije fosfata izmjerene su ispod 4 m dubine, postižući maksimum u zimskim mjesecima (Burić i sur., 2001.).

Slatkovodne vrste u estuariju Zrmanje su rijetke, za razliku od estuarija rijeke Krke, gdje su se velike koncentracije fitoplanktona akumulirale u slatkoj vodi ispred ušća. U slučaju Zrmanje, Kinne (1971.) je identificirao kritičnu granicu saliniteta 4-7, kao područje velikog fiziološkog stresa. Prema tome, sastav slatke vode i sastav morske vode određuju položaj halokline u visoko stratificiranom estuariju. Prema tome se slatkovodni i morski fitoplankton većinom nakuplja oko halokline. Pretpostavlja se da se morski fitoplankton nakuplja neposredno ispod halokline zbog povoljnijih nutritivnih i svjetlosnih uvjeta. Pojedini slatkovodni krizofiti (Chrysophyta) i određene vrste slatkovodnih dijatomeja potonu u haloklinu i ugibaju od osmotskog šoka (Pikelj i Juračić, 2013.). Produktivnost u estuariju Zrmanje uvelike ovisi o zamućenosti i svjetlosnim uvjetima. Morski sloj je povoljnije područje za razvoj fitoplanktona jer nudi optimalan izbor mikrokonstituenata potrebnih za rast, dok je koncentracija metala u tragovima u krškim rijekama jako niska. Fitoplankton, koji se akumulira ispod halokline u srednjem dijelu estuarija, dobar je odabir hrane za zooplankton. To potvrđuju istraživanja koja su zabilježila akumulacije zooplanktona oko halokline (Fiket i sur., 2018.). U estuariju Zrmanje su izmjerene niske koncentracije nitrata u morskom sloju donjeg dijela estuarija. To je moguća posljedica izolacije estuarija od otvorenog Jadranskog mora, budući da se u dubljim slojevima Jadranskog mora nalaze akumulacije nitrata. Uz to, odsutnost jakih vjetrova smanjuje resuspendiranost sedimenata u estuariju (Burić i sur., 2005.).

Važnu ulogu u estuariju imaju i heterotrofne bakterije koje pretvaraju otopljenu organsku tvar u biomasu i regeneriraju hranjive tvari. Smatra se da predstavljaju važnu poveznicu između otopljene organske tvari, čestica organske tvari, većeg zooplanktona i bentičkih organizama koji se hrane filtracijom. Na njihovu rasprostranjenost u estuariju utječu određeni fizičko-kemijski procesi kao što su: sunčevo zračenje, temperatura, dostupnost hranjivih tvari, ali i biotički čimbenici u koje se ubraja fitoplankton i mikroheterotrofi. Broj heterotrofnih bakterija je veći u gornjem dijelu estuarija nego u srednjem dijelu (Fiket i sur., 2018.).

#### 4.7. Estuarij rijeke Krke

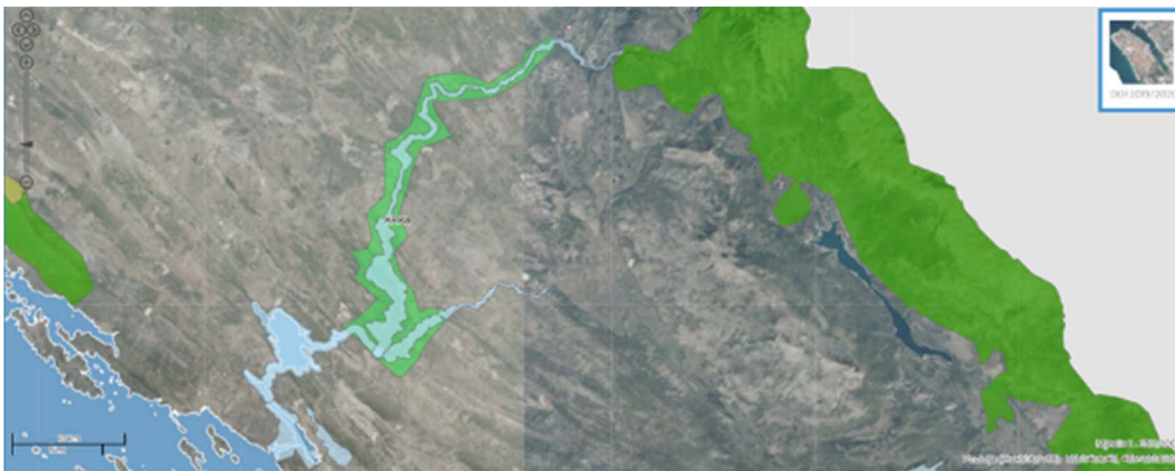
Rijeka Krka nalazi se u Dalmaciji te izvire 3,5 km sjeveroistočno od podnožja planine Dinare, a utječe u Jadransko more kraj Šibenika (Slika 21). Duga je 72,5 km, od čega slatkovodni dio čini 49 km, a boćati 23,5 km. Ukupni pad toka je 224 m (Jasprica i Carić, 1997.). Estuarij Krke dobiva vodu iz Visovačkog jezera (prirodna akumulacija) te se u njemu

nalazi i razvija značajna količina slatkovodnog fitoplanktona. Razvoj velike količine fitoplanktona je potpomognut i niskim donosom terigenog materijala (anorganskih čestica) pa je gornji i srednji dio estuarija iznimno bistar (Kuzmić i sur., 2006.). Prema Orliću i suradnicima (1991.), eutrofički sloj se proteže i do 20 metara što omogućava optimalan razvoj fitoplanktona. Haloklina je prisuta i odvaja boćatu vodu od morske, kao i dvije zajednice fitoplanktona. U boćatom sloju iznad halokline pronađena je četiri puta veća količina klorofila a nego u donjem morskom sloju. Klorofil a potječe vjerojatno od slatkovodnog fitoplanktona koji se razvija u Visovačkom jezeru iznad samog estuarija. Prisutne su i stanice slatkovodnih planktonskih algi koje ugibaju, tonu i raspadaju se ako salinitet u estuariju poraste iznad 8 (Viličić i sur., 1989.). Razgradnjom planktonskih algi u estuariju povećava se koncentracija feofitina (produkt razgradnje klorofila) te dolazi do nakupljanja površinski aktivnih suspendiranih organskih agregata, od koji je većina fitoplanktonskog podrijetla (cijanobakterije, proklorofiti i zelene alge). Prisutnost određenih organizama u graničnom sloju između boćate i slane morske vode svjedoči o aktivnosti razgradnje organske tvari u estuariju Krke i regeneraciji anorganskih soli (Kniewald i sur., 2006.; Mihanović i sur., 2013.). Prisutan je i pikoplankton duž halokline, koji čini 50% ukupne biomase autotrofa te nanoflagelati i trepetljikaši koji potvrđuju odvijanje mikrobne aktivnosti u graničnom sloju (Jasprica i Carić, 1997.).

Prema usporedbi količine hranjivih tvari u samoj rijeci Krki i u Jadranskom moru, koncentracija hranjivih tvari u rijeci Krki je za jedan red veličine veća nego u Jadranskom moru. U gornjem dijelu estuarija dolazi do povećane koncentracije silikata, nitrata i ortofosfata. Raspadanjem prisutnog slatkovodnog fitoplanktona nastaju i znatne količine hranjivih soli u estuariju (Orlić i sur., 1991.). Cvjetanje morskih dinoflagelata uz površinu je često te s obzirom na to da se zajednice prisutnih fitoplanktona u estuariju periodički mijenjaju u ovisnosti o protoku Krke, temperaturi i dijelu godine, mogu se odrediti posebne zajednice fitoplanktona za svako od četiri godišnja doba. Tijekom jesenskih mjeseci protok rijeke Krke je najmanji. Podpovršinsko cvjetanje morskih dinoflagelata se razvija kada pridnena voda u estuariju dosegne 20°C. Slijedi prokljavanje spora vrste *Lingulodinium polyedricum* iz sedimenta, a cvjetanje se razvije ispod halokline. Procvjetali dinoflagelati ni u jednom trenutku ne mogu proći kroz haloklinu te sloj ispod halokline oboje crveno zbog prisutnosti pigmenta peridina (Najdek i sur., 2005.).

U ljetnim razdobljima, u estuariju Krke dolazi do selektivne apsorpcije sunčeve energije na suspendiranim česticama, što za rezultat ima dostizanje temperaturnog maksimuma u haloklini estuarija. Apsorpcija sunčeve energije je selektivna jer slatkovodne diatomeje, koje dolaze

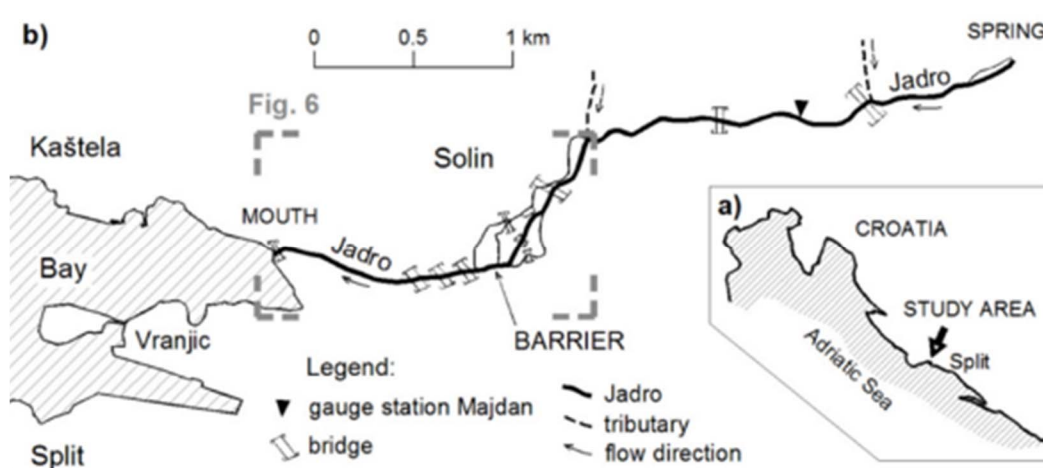
rijekom Krkom iz Visovačkog jezera, brže tonu u boćatom sloju estuarija (manja gustoća), a sporije u morskom sloju (Kniewald i sur., 2006.). Taloženje silicija, koji se nalazi u ljušturicama dijatomeja, ima važnu ulogu u kruženju silicija u Jadranu. U usporedbi s ostalim svjetskim estuarijima na temelju sedimentacije suspendirane organske tvari, estuarij Krke je obilježen kao oligotrofni sustav. Nasuprot tome, u okviru Jadranskog mora, svrstan je u jače eutrofan sustav (Najdek i sur., 2005.).



Slika 21. Sliv rijeke Krke, izvor: <https://www.biportal.hr/gis/>

#### 4.8. Estuarij rijeke Jadro

Rijeka Jadro teče iz svog izvora u podnožju Mosora kroz aluvijalnu dolinu te svoj put završava ulijevanjem u Jadransko more, blizu Splita (Slika 22). Jadransko more je karakterizirano relativno malim promjenama plime i oseke, stoga ulijevanje slatke riječne vode u more omogućava pojavu koja je zajednička svim kršim estuarijima, a to je stratificiranost estuarija (Vranješ i sur., 2004.). U estuariju se i numerički mogu odrediti slojevi različite gustoće, te je u istraživanju izmjerena debljina gornjeg slatkog sloja od 0,5 m na ušću te 0,65 m ako se mjeri na lokaciji koja je više u smjeru rijeke. Između slatkog gornjeg i slanog donjeg sloja nalazi se boćata haloklina debljine oko 0,2 m koja osigurava prijelaz iz slatke u slanu vodu (Ljubenkov, 2006.). Za haloklinu je karakteristično da je obilježena i naglim promjenama parametara važnih za život, kao što su temperatura i gustoća. Ustanovljeno je da je interakcija slatke i slane vode u estuariju jako složen proces, u slučaju stratificiranih estuarija. Rijeka Jadro je opskrbljivana s dva veća pritoka znatnom količinom vode u kišnim razdobljima (periodički), a tijekom ljeta su pritoci uglavnom suhi pa je i količina slatke vode koja se nalazi u estuariju manja tj. veći je salinitet. Zbog toga je estuarij rijeke Jadro kroz većinu godine, a nekad i tijekom cijele godine, stratificiran (Kurup i su., 1998.).



Slika 22. Donji tok rijeke Jadro, izvor: Ljubenković i Vraneš (2013.)

#### 4.9. Estuarij rijeke Cetine

Rijeka Cetina (Slika 23) je tipična krška rijeka koja teče karbonatnim stijenama, uglavnom vapnencem. To je rijeka srednje Dalmacije, duga je 100,5 km s porječjem od 1463 km<sup>2</sup>. Temperature zabilježene u estuariju Cetine pokazale su sezonske varijacije (oko 24°C u srpnju do ispod 12°C u veljači). Salinitet je očekivano promjenjiv zbog dotoka slatke vode rijekom te se kretao od 27,5 (veći dotok slatke vode) u srpnju do 39,4 u listopadu (manji dotok slatke vode) (Cusak i sur., 2014.). Prema desetogodišnjem istraživanju u estuariju rijeke Cetine, zaključilo se da se povećane koncentracije klorofila *a* pojavljuju tijekom zimskog razdoblja, kada je rast školjkaša *Acanthocardia tuberculata* najintenzivniji. Sporiji rast tog školjkaša je povezan s nižim koncentracijama klorofila *a* u estuariju. U korelaciji s količinom klorofila *a*, estuarij Cetine se karakterizira kao oligotrofno područje (Vale i Taleb, 2005.). Biomasa fitoplanktona neznatno raste u zimskim mjesecima, smatra se zbog manjka unosa hranjivih tvari rijekom. Dušik i fosfor su važni hranjivi sastojci koji se iskorištavaju u vodenom ekosustavu. Neophodni su za rast i reprodukciju organizama. Ako se zbog određenog razloga dogodi prekid u cirkulaciji ova dva elementa u estuariju, to može rezultirati pojavom eutrofikacije u estuarijskom sustavu te posljedično uništiti životne uvjete u njemu (Jurkić i sur., 1998). S obzirom na to da je rijeka Cetina krška rijeka i ima nisku sposobnost samopročišćavanja, lako je podložna onečišćenju. Ljudske aktivnosti su jedne od glavnih faktora onečišćenja rijeke Cetine, a s time i pretjeranog unosa dušika i fosfora rijekom u estuarij (Ćuk i sur., 2010.).

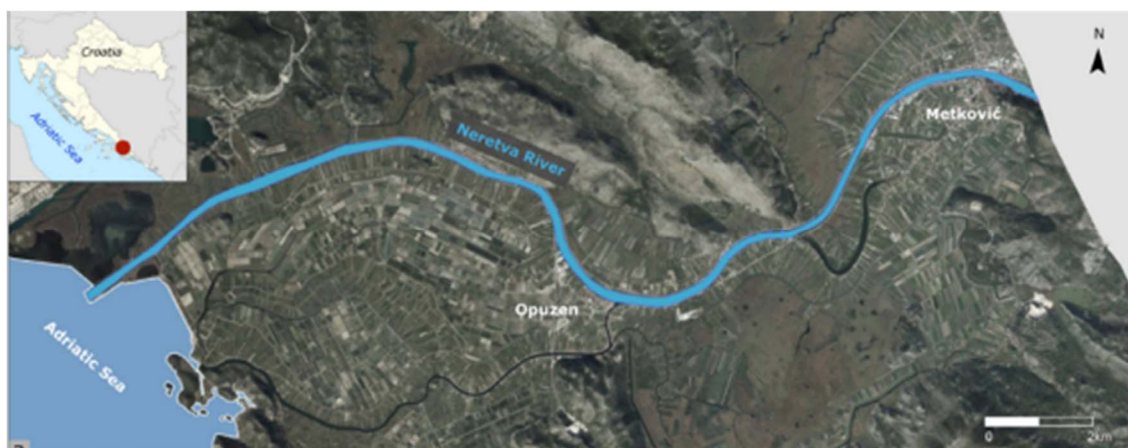


Slika 23. Hidrogeološko porječje Cetine, izvor: Jagušić (2019.)

Estuarij Cetine je područje sa povremenim sporim i brzim strujanjima vode. Na mjestu spajanja mora i rijeke, uz obalu, gdje vodeni tok nije jak, mogu se pronaći pojedine vrste algi koje pokrivaju tvrdo dno, ali i određene vrste odraslih puževa. Više od 95 % istraženih puževa bili su sakupljeni s kamena na dnu, a na 96% puževa bile su nastanjene alge. Alga *Pneophyllum cetinaensis* prisutna je gotovo cijelom dužinom rijeke Cetine, te do 75 km od ušća rijeke tj. nalazi se samo u najplićem dijelu estuarija (do 50 cm) gdje nije značajan utjecaj morske vode (Jurkić i sur., 1998). Bitno je napomenuti da ova alga nije prisutna uzvodno od rijeke, u blizini umjetnog jezera zbog velikih varijacija u vodostajima. *P. cetinaensis*, za koju se otkrilo da je striktno endem rijeke Cetine (Hrvatska), prva je poznata slatkovodna koralinska alga za koje se smatralo da su isključivo morske vrste. Postoji samo 15 vrsta (koji pripadaju redu *Ceramiales*) koje su premostile morsko - riječnu granicu, ali još uvijek žive u morskim staništima gdje se isključivo razmnožavaju (Gowen i Bloomfield, 1996.). Mogu se smatrati evolucijskim sekundarnim imigrantima iz mora. Za pravilan rast i kalcificiranje stanične stijenske, *P. cetinaensis*, kao i druge koralinske alge, zahtijevaju kalcijev karbonat i magnezij, kojih ima dovoljno u morskoj vodi, ali ne u svakoj vrsti rijeka (Jurkić i sur., 1998). Sliv rijeke Cetine leži na karbonatnim stijenama (vapnencu), voda joj je tvrda i obogaćena otopljenim ionima kalcija karbonata i magnezija koji su bitni za razvoj koralina. Štoviše, visoka razina iona u rijeci Cetini, koja ukazuje visoku vodljivost, olakšale su osmoregulaciju mnogim morskim vrstama (Ćuk i sur., 2010.).

#### 4.10. Estuarij rijeke Neretve

Rijeka Neretva duga je 215 km i teče najvećim dijelom Bosnom i Hercegovinom, a samo 22 km kroz Hrvatsku prije nego što se ulije u Jadransko more (Slika 24). Tipična je planinska rijeka u svom gornjem i srednjem dijelu, nakon čega tvori široko aluvijalno proširenje (Slika 25) (Soldo i sur., 2010.). Ušće rijeke Neretve nalazi se na jugoistočnom dijelu jadranske obale te je najveća rijeka u istočnom dijelu hrvatske jadranske obale. Srednji dnevni raspon plime i oseke u periodu između 1956. i 2000. je iznosio 0,23 metra što čini ovaj estuarij visoko stratificiranim. Takav mali raspon između plime i oseke stvara pogodno mjesto za život organizama karakterističnih za slane močvare u blizini estuarija (Vego i Radović, 2002.).



Slika 24. Ulazak rijeke Neretve u Jadransko more izvor: Krvavica i Ružić (2020.)

Razdoblja plime i oseke u Jadranskom moru su mješovita s relativno malim amplitudama. U estuariju Neretve, najviša zabilježena razina mora je bila 120 cm n.v., a najniža -25 cm n.v., ispitivano u razdoblju od 1977. do 2018. godine. Međutim, srednje amplitude ne prelaze 30 cm. Zbog takvih malih amplituda izmjene plime i oseke, estuarij Neretve je izrazito slojevit tijekom cijele godine te je debljina piknokline uvijek ispod 0.5 m (Krvavica i Ružić, 2020.). Što se tiče koncentracije kisika u estuariju Neretve, do dubine od 4 metra vodeni stupac je dobro oksigeniran (više od 70% O<sub>2</sub>), dok se hipoksija (manje od 40% O<sub>2</sub>) javlja u donjem sloju (6-10 metara) u razdoblju od srpnja do prosinca. U pojedinim slučajevima su izmjereni anoksični uvjeti na dubini 9-10 metara u jesenskim mjesecima (Trigueros i Orive, 2001.). Koncentracije fosfata i silikata dostižu vrhunac dva put godišnje, u kolovozu i studenom. Najveće koncentracije klorofila a zabilježene su u periodu od srpnja do rujna s maksimumom u rujnu (4,52 µg/ L). Istraživanje od strane Jasprica i suradnika (2003.). je pokazalo da je



zabilježena najveća koncentracija fitoplanktona tri put na godinu, u svibnju (na 10 m), kolovozu (na 5 m) te veljači (na površini).

Razumijevanje fizičkih procesa koji se odvijaju u visoko stratificiranim estuarijima ima veliku važnost u brojnim inženjerskim i ekološkim djelatnostima, npr. predviđanje utjecaja jaružanja ili kakav će utjecaj ostaviti proširenje kanala na zadano obalno područje (Green i sur., 2009.). Estuariji se također smatraju i kritičnim područjima zbog intenzivnog onečišćenja koji dolazi u njega transportom vode. Onečišćenje može dovesti do eutrofikacije i pogoršanja kvalitete vode što može biti pogubno za živuće organizme. Rijeka Neretva je specifična po tome što se oko nje i oko estuarija nalaze razna poljoprivredna zemljišta koja se uređuju te se sve ispiranjem tla nosi u rijeku, a onda do estuarija (Soldo i sur., 2010.). Iako se gornji dio rijeke Neretve smatra oligotrofnim, voda donjeg estuarija se karakterizira kao mezotrofna. To se povezuje s intenzivnom ljudskom aktivnosti u području donjeg estuarija i okolice. Donji tok rijeke Neretve nalazi se u području jedne od najvažnijih i najproduktivnijih poljoprivrednih površina u Hrvatskoj, pokriva oko 5200 ha obradive površine (Trigueros i Orive, 2001.). Slani klin estuarija Neretve ne zadire samo uzvodno uz rijeku Neretvu već je zabilježeno da može prodrijeti i bočno te doprinijeti zasoljenju podzemnih voda i tla. To u budućnosti može značajno negativno utjecati na poljoprivredne zajednice zbog pogoršanja kakvoće slatke vode koja se koristi za navodnjavanje, ali se predviđa i trajna salinizacija podzemnih voda i tla, posebice tijekom ljetnih mjeseci (Green i sur., 2009.).

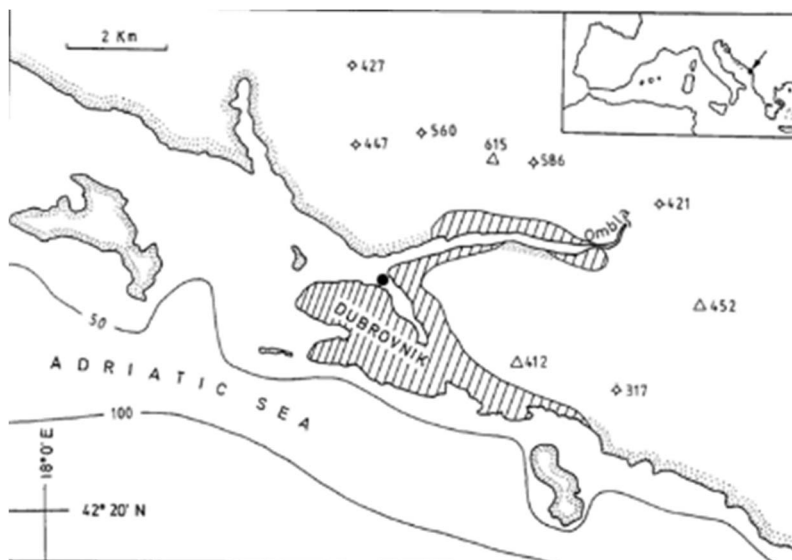
Istraživanja o zajednicama fitoplanktona u estuariju rijeke Neretve su pokazala da su dijatomeje najvažnija skupina fitoplanktona, u pogledu količine biomase i raznolikosti. Potvrdili su i da dijatomeje karakterizira velika raznolikost i dinamičnost vrsta kao i brze reakcije na promjene u okolišu. U estuariju dijatomeje igraju ključnu ulogu u procesu fotosinteze te su neizostavan dio hranidbenog lanca estuarija.



Slika 25. Aluvijalno proširenje rijeke Neretve, izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Neretva#/media/Datoteka:Dalmatia\\_Neretva\\_river\\_delta\\_IMG\\_9877.JPG](https://hr.wikipedia.org/wiki/Neretva#/media/Datoteka:Dalmatia_Neretva_river_delta_IMG_9877.JPG)

#### 4.11. Estuarij rijeke Omble

Ombla je krška rijeka čiji se izvor nalazi na obali Jadranskog mora, u blizini Dubrovnika. Izvor se izliva u razini mora te se rijeka Ombla gotovo odmah ulijeva u more (200 metara je izvor udaljen od mora) (Slika 26). Formira kratak (oko 4 km dug) visoko stratificirani estuarij čiji gornji tok seže do dubine od 6 metara, dok donji seže do oko 25 m dubine. Budući da rijeka Ombla teče po vapnencu, koji je vrlo propusan, cirkulacija vode se odvija uglavnom kroz podzemne vode (ponori) i podzemne izvore (vrulje) (Viličić i sur., 1995.).



Slika 26. Ulijevanje rijeke Omble u Jadransko more, izvor: Viličić i sur., (1995.)

Zbog malih amplituda plime i oseke, ušće Omble je slano-klinastog tipa sa izraženom stratifikacijom temperature i saliniteta u rasponu od 0,2 metra. Zabilježen je porast temperatura u estuariju u periodu od ožujka do kraja svibnja te su nakon toga više-manje bile konstantne do rujna (Carić i Jaspirica, 2004.). Tijekom mjeseca lipnja vodeni stupac estuarija se počinje hladiti, s najvećim razlikama u prijašnjim temperaturama u površinskom dijelu. Tijekom cijele godine prisutna je oštra haloklina koja odvaja gornji sloj manje gustoće od donjeg morskog sloja veće gustoće (Carpenter i sur., 1998.). Salinitet izmjeren u površinskom dijelu ima promjenjive vrijednosti (9-37), a salinitet u donjem dijelu estuarija je većinom konstantan tijekom cijele godine (33-38). Koncentracija svih dostupnih nutrijenata smanjuje se u cijelom estuariju kroz veći dio godine (Levin i sur., 2001.). Maksimalne koncentracije hranjivih tvari u estuariju Omble zabilježene su u površinskom sloju. Na tom području ujedno i najviše osciliraju koncentracije hranjivih tvari (posebice ukupnog anorganskog dušika), u usporedbi s donjim slanim slojem. Za rast fitoplanktona u estuariju najdostupniji su fosfati, kao izvor fosfora, te anorganski dušik ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ) kao izvor dušika (Kuzmić i sur., 2006.). Izmjereni omjer dušika i fosfora u estuariju rijeke Omble je N:P=16:1. Na temelju tih podataka može se zaključiti je da je optimalno vrijeme za rast fitoplanktona u ovom estuariju u periodu od travnja do kolovoza. Za određivanje granične razine nutrijenata potrebnih za razvoj fitoplanktona, pri bilo kojem salinitetu, korištene su metode omjera hranjivih tvari u estuariju naspram saliniteta u estuariju (Šolić i sur., 2015.). Zaključeno je da je u estuariju Omble fosfor ograničavajući faktor rasta fitoplanktona pri bilo kojem salinitetu. Ako je salinitet veći od 38, postoji mogućnost prijelaza ograničavajućeg faktora rasta s fosfora na dušik (Šolić i sur., 2015.). Tijekom godine se ističu dva vremenska perioda intenzivnog rasta mikrofitoplanktona, pred kraj svibnja (89% dinoflagelati) i krajem kolovoza. Brojnost fitoplanktona se smanjuje s dubinom, duž vodenog stupca. Zabilježeno je da je brojnost fitoplanktona veća pri nižem salinitetu, što se pretpostavlja da je uzrokovano dušikom kao ograničavajućom hranjivom tvari (Najdek i sur., 2005.).

## 5. Zaključak

Estuarij predstavlja posebnu vrstu staništa u kojem biljne i životinjske vrste pronalaze svoj dom, te posljedično izvor hrane, zaštitu i mjesto za razmnožavanje. Samo se mali broj vrsta uspije u potpunosti prilagoditi na oscilirajuće uvjete estuarijskog života, čije vrijednosti ovise o intenzitetu miješanja rijeke i mora (izmjena plime i oseke, salinitet, gustoće mora, temperature i nutrijenti). U uvjetima malih plimnih oscilacija na Jadranu, krške rijeke jadranskog sliva stvaraju male krške estuarije. Iako je za njih karakteristično da imaju kraći površinski tok, njihov podzemni sustav omogućava preživljavanje organizama koji ih nastanjuju. Jadranski krški estuariji su neizbježna, stalna ili privremena, stanica u životnom i razvojnom ciklusu mnogih organizama (planktona, riba, školjkaša i ostalih). Od polaganja jaja do razvoja i razmnožavanja, estuarij za svaki životni stadij osigurava zaštitu od predatora, sigurnost i obilje hrane.

Prodiranje slane vode dublje u kopno zbog podizanja morske razine, uzrokovano globalnim klimatskim promjenama, može imati brojne negativne posljedice koje možemo podijeliti u dvije grupe. Što se tiče utjecaja na čovjeka, plodna tla oko estuarija mogu postati neiskoristiva za uzgoj zbog povećanog zaslanjivanja. Može utjecati na opću opskrbu, industriju, ali i navodnjavanje. S druge strane, distribucija vrsta i sastav zajednica u estuariju primarno ovisi o salinitetu i promjeni istog. Dugotrajno povećanje saliniteta može izazvati značajne promjene u sastavu i distribuciji vrsta koje nastanjuju estuarij, prisiljavajući ih da se nastane uzvodno, gdje je manji salinitet (Vargas i sur., 2017.).

Iako je dosad provedeno mnogo istraživanja na temu estuarija i procesa koji se u njima događaju, te istraživanja živog svijeta koji u njima obitava, i dalje postoje važne praznine. Te praznine onemogućavaju ljudima spoznavanje širokog opsega procesa potrebnih za očuvanje i razumijevanje ovog staništa, kako na lokalnoj tako i na globalnoj razini. Tijekom godina je područje oko estuarija postalo popularno mjesto za naseljavanje ljudi. Rezultat toga je nakupljanje svih ostataka antropogenih aktivnosti u područjima estuarija. Otpad, industrijski razvoj i zagađenje su samo neki od izravnih primjera. Na primjer, povećan unos hranjivih tvari iz gnojiva te njegovo raspadanje u estuariju može uzrokovati nakupljanje otrovnih spojeva koji su štetni za pojedine organizme u estuariju. Ljudi danas olako uzimaju prirodu te svojim postupcima svjesno ili nesvjesno mijenjaju cjelokupnu ravnotežu vodenog sustava. Ljudske aktivnosti su gurnule staništa u estuarijima preko ruba. Od svog vrhunca kroz povijest kada su bili definicija bogatog, produktivnog i raznolikog staništa, pretjerano iskorištavanje i uništavanje su doveli do njihove degradacije. Potencijal za oporavak ovih vodenih ekosustava

ostaje tamo gdje se nalaze ljudski naponi sa željom za zaštitom i obnovom. Estuariji su jako vrijedno stanište, naša odgovornost je razumjeti rizike i utjecaje koje mi imamo na njih te ih smanjiti.

Hrvatski krški estuariji su specifični, kada ih se uspoređi sa ostalim svjetskim estuarijima. Dok je ostalim estuarijima „potrebna“ velika izmjena plime i oseke te veliki doprinos riječne vode da bi se postigla stratifikacija, hrvatski estuariji to rade na manjoj skali. Postižu iste rezultate s manjim amplitudama plime i oseke, uz dotok slatke vode rijekom. Iako na pojedinim lokacijama nije provedeno puno istraživanja hrvatskih mikro-plimnih estuarija, to ne smanjuje njihovu važnost i funkciju. Ništa nas ne bi trebalo spriječiti da takav okoliš nastavimo štiti od intenzivnog, a u većini slučajeva i jako negativnog, antropogenog utjecaja.

Obzirom na količinu štete koju ljudi svakodnevno „nesvjesno“ uzrokuju u prirodi, mislim da je bitno staviti naglasak na posljedice koje proizlaze iz toga. Činjenica je da smo mi velikom većinom krivi za sve što se trenutno događa, sva zatopljenja, sve klimatske promjene i posljedično porast razine mora koja izuzetno negativno utječe na ekosustav kao što je estuarij. Mi kao ljudi uzimamo iz prirode kao da je neiscrpan izvor dobara, ali malo toga dajemo zauzvat. Priroda je sama po sebi čudesna i samoodrživa, dok se ne pojavi čovjek, koji uzima bez stajanja i promišljanja. Smatram da bismo se svi trebali malo više osvijestiti na svoje postupke i shvatiti da ne držimo mi prirodu na životu nego priroda nas.

## 6. Literatura:

- Anderson, G. F. (1986) Silica, diatoms and a freshwater productivity maximum in Atlantic coastal plain estuaries, Chesapeake Bay. *Estuarine, Coastal Shelf Science* 22, 183-197
- Andersson, A., Haecky P., Hagstrom, A. (1994) Effect of temperature and light on the growth of micro-, nano- and picoplankton: Impact on algal succession. *Marine Biology* 120: 511–520
- Antonov, J.I., Locarnini, R.A., Boyer, T.P., Mishonov, A.V., Garcia, H.E., Levitus, S. (2006) World Ocean Atlas 2005 Volume 2: Salinity, in: Jolley, D.W. et al. (Ed.) (2002). The North Atlantic Igneous Province: stratigraphy, tectonic, volcanic and magmatic processes. Geological Society Special Publication, 197: 253-269
- Arapov, J., Skejić, S., Bužančić, M., Bakrač, A., Vidjak, O., Bojanić, N., Ujević, I., Ninčević, Ž. (2017) Taxonomical Diversity of Pseudo-nitzschia from the Central Adriatic Sea. *Phycol. Res.*, 65
- Arbanas, Ž., Jagodnik V, Ljutić, K., Dugonjić Jovančević, S., Vivoda, M. (2011) Establishment of the Grohovo Landslide monitoring system. Proceeding of the 2nd Workshop of the Project Risk identification and LandUse Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia, 15-17 December 2011, Rijeka, Croatia, 29-32
- Aston, S.R. (1980) Nutrients, dissolved gases and general biogeochemistry in estuaries. In: Olausson E, Cato I, editors. Chemistry and biogeochemistry of estuaries. John Wiley and Sons; 233–262
- Balbo, L. A., Andrić, M., Rubinić, J., Moscariello, A., Miracle, P. T. (2006) Palaeoenvironmental and Archaeological Implications of a Sediment Core from Polje Cepic, Istria, Croatia. *Geologija Croatica*. 59 (2), 107-122
- Bardin, O. i Pont, D. (2002) Environmental factors controlling the spring immigration of two estuarine fishes *A. boyeri* and *Pomatoschistus* spp. into a Mediterranean lagoon. *J. Fish Biol.*, 61: 560-578
- Beardall, J., Young, E., Roberts, S. (2001) Approaches for determining phytoplankton nutrient limitation. *Aquatic Science* 63, 44-69
- Benac, Č., Rubinić, J., Radišić, M. (2017) Geomorfološka evolucija riječnih dolina i ušća na istarskom poluotoku. *Hrvatske vode*, 25(100), 71-80
- Benac, Č., Arbanas, Ž., Pavlovec, E. (1991) The Origin and the Geotechnical Properties of the Raša River valley and the Raša Bay. *Pomorski zbornik*, 29, pp. 475-492, Rijeka (In Croatian)
- Bertness, M.D. i Hacker, S.D. (1994) Physical stress and positive associations among marsh plants. *American Naturalist*, 144: 363–372
- Blaber, S.J.M. (1981) The zoogeographic affinities of estuarine fishes in south-east Africa. *S. Afr. J. Sci.* 77: 305-307
- Bonacci, O. (1999) Water circulation in karst and determination of catchment areas: example of the River Zrmanja. *Hydrol Sci J*, 44, 373-386
- Bronk, D.A, Glibert, P.M, Malone, T.C, Banahan, S., Sahlsten, E. (1998) Inorganic and organic nitrogen cycling in Chesapeake Bay: autotrophic versus heterotrophic processes and relationships to carbon flux. *Aquat Microb Ecol.*;15:177–89
- Burdige, D.J. (2006) Geochemistry of marine sediments. Princeton Univ. Press; 55-56
- Burić, Z., Viličić, D., Cetinić, I., Caput, K., Carić, M., Olujić, G. (2005) Taxonomic composition of phytoplankton in the shallow, stratified estuary (Zrmanja river, Adriatic Sea). *Periodicum biologorum*, 107, 305–312
- Burić, Z., Vilicic, D., Caric, M., Olujić, G. (2001) Seasonal distribution of hidrographic characteristics and phytoplankton in the karstic Zrmanja Estuary (eastern Adriatic Sea). *Rapp Comm Int Mer Médit*, 36, 363
- Burton, J.D. (1970) Behaviour of dissolved silicon during estuarine mixing. 2. Preliminary investigations in Vellar Estuary Southern India. *J Du Conseil*; 33:141

- Cameron, W. M. i Pritchard, D.W. (1963) *Estuaries, The sea*, v. 2. Interscience, New York, N.Y. :306-324
- Carić, M. i Jasprica, N. (2004) Annual variability in the distribution of surface nutrients and phytoplankton in the Ombla River estuary. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 37: 500
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H., (1998) Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8 (3): 559-568
- Castro, P., Huber, M.E. (2008) *Marine Biology*, MyGraw-Hill, New York, 266-273
- Capone, D.G., Bronk, D.A., Mulholland, M.R., Carpenter, E.J. (2008) Nitrogen in the marine environment. Elsevier Inc: 145-149
- Caraco, N.F. i Cole, J.J. (2001) Human influence on nitrogen export: a comparison of mesic and xeric catchments. *Mar Freshw Res*;52:119–25
- Carstensen J., Conel D. J., Andersen J. H., Aertebjerg G. (2006) Coastal eutrophication and trend reversal: A Danish case study. *Limnol. Oceanogr.*, 51 (2), 398–408
- Cenedese, C. i Adduce, C. (2010) A New Parameterization for Entrainment in Overflows. *J Phys Oceanogr* 40(1), 1835–1850
- Cloern, J. E. (1987) Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research* 5, 1367- 1381
- Cole, J.J., Caraco, N.F., Peierls, B.L. (1992) Can phytoplankton maintain a positive carbon balance in a turbid, freshwater, tidal estuary? *Limnology and Oceanography* 37, 1608-1617
- Cole, B. E., Cloern, J. E., Alpine, A. E. (1986) Biomass and productivity of three phytoplankton size classes in San Francisco Bay. *Estuaries* 9: 117-126
- Conley D.J, Bjorck ,S., Bonsdorff, E., Carstensen, J., Destouni, G., Gustafsson, B.G. (2009) Hypoxia-related processes in the Baltic Sea. *Environ Sci Technol*;43: 3412–20
- Cowley, P. D. i Whitfield, A. K. (2002) Biomass and production estimates of a fish community in a small South African estuary. *Journal of Fish Biology* 61(Suppl. A), 74–89
- Cusack, M., Kamenos, N. A., Rollion-Bard, C., Tricot, G. (2014) Red coralline algae assessed as marine pH proxies using B-11 MAS NMR. *Sci. Rep.* 5
- Ćuk, R. i sur. (2010) Saprobic status of running waters in Croatia based on benthic macroinvertebrates. *Nat. Croat.* 19, 389–406
- Day, J. H., Blaber, S. J. M., Wallace, J. H. (1981) Estuarine fishes. In *Estuarine Ecology with Particular Reference to Southern Africa* (Day, J. H., ed), pp. 197–221. Cape Town: A. A. Balkema
- Deborde, J., Anschutz, P., Chaillou, G., Etcheber, H., Commarieu, M.V., Lecroart, P. (2007) The dynamics of phosphorus in turbid estuarine systems: example of the Gironde estuary (France). *Limnol Oceanogr*; 52:862–72
- Domingues, R.B., Barbosa, A., Galvão, H. (2005) Nutrients, light and phytoplankton succession in a temperate estuary (the Guadiana, south-western Iberia), *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64, 249-260
- Drever, J.I. (1997) *The geochemistry of natural waters:surface and groundwter environments*. Lebanon USA: Prentice Hall; 24-26
- Elliott, M. i Dewailly, F. (1995) The structure and components of European estuarine fish assemblages. *Neth J Aquat Ecol* 29:397–417
- Fairbridge, R. (1980) The estuary. Its definition and geodynamic cycle. In: OLAUSSON, E. & CATO, I. (eds): *Chemistry and biochemistry of estuaries*, pp. 1–35, New York.
- Ferreira, B.A. i sur. (2019) "Chronic trace metals effects of mine tailings on estuarine assemblages revealed by environmental DNA." *PeerJ* 7: e8042.
- Ferraro, L., Sprovieri, M., Alberico, I., Lirer, F., Prevedello, L., Marsella, E. (2006) Benthic foraminifera and heavy metals distribution: a case study from the Naples Harbour (Tyrrhenian Sea, Southern Italy). *Environ Pollut*;142:274–87
- Felja, I. (2017) Karstic estuaries along the eastern Adriatic coast: Late-Quaternary evolution of the Mirna and Neretve River mouths. PhD Thesis, University of Zagreb, Croatia, 169 p

- Fiket, Ž., Ivanić, M., Furdek, T. M., Mikac, N., Kniewald, G. (2018) Distribution of trace elements in waters of the Zrmanja River estuary (eastern Adriatic coast, Croatia). *Croat Chem Acta* 91(1):29–41
- Fisher, D. C. i Oppenheimer, M. (1991) Atmospheric nitrogen deposition and the Chesapeake Bay estuary. *Amho* 20:102- 108
- Furlani, S., Pappalardo, M., Gomez-Pujol, L., Chelli, A. (2014) The rock coast of the Mediterranean and Black Seas.– In: KENNEDY, D.M., STEPHENSON, W.J. & NAYLOR, L.A. (eds.): *Rock Coast Geomorphology: A Global Synthesis.*– Geological Society, London *Memoirs*, 40, 89–123
- Gassman, G. (1994) Phosphine in the fluvial and marine hydrosphere. *Mar Chem*;45: 197–205.
- Gazeau, F., Smith, S.V., Gentili, B., Frankignoulle, M., Gattuso, J.P (2004) The European coastal zone: characterization and first assessment of ecosystem metabolism. *Estuar Coast Shelf Sci* 60:673–694
- Globevnik, L., Sovinc, A., Fazarinc, R. (1998) Land degradation and environmental changes in the Slovenian sub Mediterranean (the Dragonja river catchment). *Geofkodynamik (Bensheim) XIX*, 281 – 291
- Gowen, R.J. i Bloomfield, S.P. (1996) Chlorophyll standing crop and phytoplankton production in the western Irish Sea during 1992 and 1993. *J. Plankton Res.* 18:1735-1751
- Green, M.A., Waldbusser, G.G., Reilly, S.L., Emerson, K., O'Donnell, S. (2009) Death by dissolution: sediment saturation state as a mortality factor for juvenile bivalves. *Limnol. Oceanogr.*, 54(4): 1037-1047
- Haas, L. W., Hastings, S. J., Webb, K. L. (1981) Phytoplankton response to a stratification-mixing cycle in the York River estuary during late summer. In: Neilson, B. J., Cronin, L. E. (ed.) *Estuaries and nutrients.* Humana Press, Clifton, New Jersey, 619-636
- Halamić J., Peh, Z., Miko, S., Galović, L., Šorša, A. (2012) Geochemical atlas of Croatia: environmental implications and geodynamical thread. *J Geochem Explor* 115:36–46
- Hansen, D. V. i Rattray Jr, M. (1966) New dimensions in estuary classification 1. *Limnology and oceanography*, 11(3), 319-326
- Herbeck, L.S., Unger D, Krumme U, Liu SM, Jennerjahn TC. (2011) Typhoon-induced precipitation impact on nutrient and suspended matter dynamics of a tropical estuary affected by human activities in Hainan, China. *Estuar Coast Shelf Sci*;93: 375–88
- Herman, P.M.J., Middelburg, J.J., van de Koppel, J., Heip, C.H.R., Nedwell, D.B. i Raffaelli, D.G. (1999) Ecology of estuarine macrobenthos. *Advances in Ecological Research* 29, 195–240
- Hobby, D. i Minneboo, S. (2001) Hydrology of the upper Dragonja catchment, South-western Slovenia. *Vrije Universiteit, Amsterdam*, 101 p.
- Hopfensperger, K.N. i Engelhardt, K.A. (2008) Annual species abundance in a tidal freshwater marsh: germination and survival across an elevational gradient. *Wetlands*, 28, 521–526
- Howarth R. W., Anderson, D.A., Church, T.M., Greening, H., Hopkinson, C.S., Huber, W.C., Ibanez, C., Pont, D., Prat, N. (1997) Characterization of the Ebre and Rhone estuaries: A basis for defining and classifying salt-wedge estuaries, *Limnology and Oceanography*, 1, pp. 89-101
- Ibanez, C., Morris, J.T., Mendelssohn, I.A. i Day, J.W. (2012) Coastal Marshes. In *Estuarine Ecology*, J.W. Day et al. (eds). New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 129–164
- Jaguš, I. (2019) Hidrogeološka obilježja rijeke Cetine, zvršni rad, Sveučilište u Zagrebi, Prirodoslovno- matematički fakultet
- Jasprica, N. i Carić, M. (1997) A comparison of phytoplankton biomass estimators and their environmental correlates in the Mali Ston Bay (southern Adriatic). *Marine ecology*, 18, 35 – 50



- Jasprica, N., Carić, Batistić, M. (2003) The marshland vegetation (Phragmito-Magnocaricetea, IsoëtoNanojuncetea) and hydrology in the Hutovo Blato Natural park (Neretva River delta, Bosnia and Herzegovina). – *Phyton (Horn)* 43: 281–249
- Jennings, S., Grandcourt, E. M., Polunin, N. V. C. (2013) The effects of fishing on the diversity, biomass and trophic structure of Seychelles' reef fish communities. *Coral Reefs* 14, 225–235
- Jickells, T.D. (1998) Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science*;281:217–22
- Joint, I. R., Pomroy, J. (1981) Primary production in a turbid estuary. *Estuar. coast. Shelf Sci.* 13: 303-316
- Jukić, S., Vrgoč, N., Tonković, M. (1998) A contribution to knowledge of distribution of the some commercially important sea shells, especially *Chamelea gallina* (L.), along the eastern Adriatic. *Biol. Mar. Medit.* 5: 376-381
- Juračić, M. (1987) Sedimentation Mechanisms in some Adriatic Estuaries, Characteristics of Recent Sediments and Suspended Matter. Zagreb, Croatia: University of Zagreb, Doctoral thesis, 103p.
- Juračić, M. (1992) Sedimentation in some Adriatic karstic river mouths (are they estuaries or rias?). Proceedings of the International symposium “Geomorphology and sea”, Mali Lošinj, 9 p.
- Karl, D.M. (2000) Aquatic ecology. Phosphorus, the staff of life. *Nature*;406:31
- Kay, D.J. i Jay, D.A. (2003) Interfacial mixing in a highly stratified estuary 1. Characteristics of mixing. *Journal of Geophysical Research*, 108(C3), 1–15
- Kennish, M.J. (1990) Ecology of estuaries, Volume 2, Biological Aspects. CRC Press, Boca Raton: 391
- Kibria, G., Nugegoda, D., Lam, P., Fairclough, R., (1996) Aspects of phosphorus pollution from aquaculture. *Naga, The ICLARM Quarterly*, 19 (3): 20-24
- Kinne, O. (1971) Marine ecology 1(2) Inter-Research, Luneburg
- Koehl, M.A. (1982) The interaction of moving water and sessile organisms. *Scientific American* 247, 110–120
- Kniewald, G., Marguš, D., Mihelčić, G. (2006) Formation of the Krka river estuary in Croatia and the travertine barrier phenomenon. In: Briand, F. (ed.) Fluxes of small and medium-size Mediterranean rivers: impact on coastal areas. CIESM workshop monographs, 30, 93 – 96
- Koehl, M.A., Alberte, R.S. (1988) Flow, flapping, and photosynthesis of *Nereocystis luetkeana*: a functional comparison of undulate and flat blade morphologies. *Marine Biology* 99, 435–444
- Krone, R.B. (1979) Sedimentation in the San Francisco Bay system. In: Conomos TJ, Leviton AE, Berson M, editors. San Francisco Bay: the urbanized estuary. San Francisco (CA): AAAS, Pacific Division: 85-96
- Krvavica, N., Travaš, V., Ravlic, N., Ožanić, N. (2013) Hydraulics of Stratified Two-layer Flow in Rječina Estuary.
- Krvavica, N., Kozar, I., Travaš, V., Ožanić, N. (2017) Numerical modelling of two-layer shallow water flow in microtidal salt-wedge estuaries: finite volume solver and field validation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65(1): 49-59
- Krvavica, N. i Ružić, I. (2020) Assessment of sea-level rise impacts on salt-wedge intrusion in idealized and Neretva River Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 234, 106638.
- Kurup, G.R., Hamilton, D.P., Patterson, J.C. (1998) Modelling the effect of seasonal flow variations on the position of salt wedge in microtidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 48, 191–208
- Kuzmić, M., Janeković, I., Book, J. W., Martin, P. J., Doyle, J. D. (2006.) Modeling the northern Adriatic doublegyre response to intense bora wind: A revisit. *Journal of geophysical research oceans*, 111, S313
- Lamberth, S. i Turpie, J. (2003) The role of estuaries in South African fisheries: economic importance and management implications. *African Journal of Marine Science* 25, 131–157

- Lammaire, E., Abril, G., De Wit, R., Etcheber, H. (2002) Distribution of phytoplankton pigments in nine European estuaries and implications for an estuarine typology. *Biogeochemistry*, 59, 5–23
- Latimer, J.S., Charpentier, M.A. (2010) Nitrogen inputs to seventy-four southern New England estuaries: application of a watershed nitrogen loading model. *Estuarine Coastal Shelf Sci*;89:125–36
- Lazzari, R. i Baldisserotto, B. (2008) Nitrogen and phosphorus waste in fish farming. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34 (4): 591-600
- Levin, L.A., Boesch, D.F., Covich, A., Dahm, C., Erseus, C., Ewel, K.C., Kneib, R.T., Moldenke, A., Palmer, M.A., Snelgrove, P., Strayer, D., Weslawski, J.M. (2001) The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. *Ecosystems*, 4, 430-451
- Little, S., Wood, P.J., Elliott, M. (2017) "Quantifying salinity-induced changes on estuarine benthic fauna: The potential implications of climate change." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 198: 610-625
- Lucas, L.V., Sereno, D.M., Burau, J.R., Schraga, T.S., Lopez, C.B., Stacey, M.T., Parchevsky, K.V., Parchevsky, V.P. (2006) Intradaily variability of water quality in a shallow tidal lagoon: mechanisms and implications. *Estuaries and Coasts* 29:711-730
- Lionard, M., K., Muylaert, A., Hanoutti, T., Maris, M., i Vyverman, W. (2008) Inter-annual variability in phytoplankton summer blooms in the freshwater tidal reaches of the Schelde estuary (Belgium). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79: 694–700
- Levins, R. (1969) Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* 15:237-240
- Lipps, J.H. (1983) Biotic interactions in benthic foraminifera. In: Tevesz MJS, McCall PL, editors. *Biotic interactions in recent and fossil benthic communities*. New York: Plenum Publishing Corp; 331–376
- Llebot, C., Rueda, F.J., Solé, J., Artigas, M.L., Estrada, M. (2014) Hydrodynamic states in a wind-driven microtidal estuary (Alfacs Bay). *J. Sea. Res.* 85, 263–276
- Ljubenkov, I. (2006) Numerical model of stratified flow in river mouth. Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, University of Split, Split.
- Ljubenkov, I. i Vranješ, M. (2013) Zasljanjanje ušća rijeke Jadro- mjerenje i hidrodinamičko modeliranje, *Hrvatske vode* 21; 85, 225-234
- Ljubešić, Z., Viličić, D., Boldrin, A., Malačić, V., Celio, M., Comici, C., Raicich, F. (2013) Exceptional dense water formation in the Adriatic shelf in the winter of 2012. *Ocean science*, 9, 561-572
- Mallin, M.A., Cahoon, L.B., McIver, M.R., Parsons, D.C., Shank, G.C. (1999) Alternation of factors limiting phytoplankton production in the Cape Fear River Estuary. *Estuaries* 22, 825-836
- Mann, K. H. (1997) Macrophyte production and detritus food chains in coastal waters. *Mernorie dell'Instituto Itallano di Idroblologia* 29, 353-383
- Mann, B. Q. i Pradervand, P. (2007) Declining catch per unit effort of an estuarine-dependent fish, *Rhabdosargus sarba* (Teleostei: Sparidae), in the marine environment following closure of the St Lucia estuarine system, South Africa. *African Journal of Aquatic Science* 32, 133–138
- Marchetti, A., Trainer, V. L., Harrison, P. J. (2004) Environmental conditions and phytoplankton dynamics associated with *Pseudo-nitzschia* abundance and domoic acid in the Juan de Fuca eddy, *Marine Ecology Progress Series*, 281, 1-12
- Marcus, N., Naim, R.J., Segerson, K. (2000) *Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution*. National Academy Press, Washington, D.C., 72-77
- McClusky, D.D, Elliott, M. (2004) *The estuarine ecosystem: ecology, threats, and management*. Oxford, UK: Oxford University Press. 22-36

- Medunić, G., Ahel, M., Božićević Mihalić, I., Gaurina Srček, V., Kopjar, N., Fiket, Ž., Bituh, T., Mikac, I. (2016) Toxic airborne S, PAH, and trace element legacy of the superhigh-organic-sulphur Raša coal combustion: Cytotoxicity and genotoxicity assessment of soil and ash. *Sci. Total Environ.*, 566, 306–319
- Mihanović, H., Vilibić, I., Carniel, S., Tudor, M., Russo, A., Bergamasco, A., Bubić, N., Mihalić, S., Arbanas, Ž., Krkač, M., Dugonjić, S., Ferić, P. (2010) Landslide hazard maps and early warning systems aimed at landslide risk mitigation. Proceedings of 2nd Conference of the Croatian Platform for Catastrophe Risk Reduction. 14-15 October 2010, Zagreb, Croatia, 18-22 (in Croatian)
- Milotić, I. (2004): Dolina Mirne (The Mirna Valley). U (In:) Antici. Ekološki glasnik, Donja Lomnica, 325p.
- Mitsch, W. J. i Gosselink, J. G. (2000) The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*, 35(1), 25-33
- Montagna, P.A., Alber, M., Doering, P., Connor, M.S. (2002) Freshwater inflow: science, policy, and management. *Estuaries* 25 (6B), 1243–1245
- Montagna, P., Palmer, P., Pollack, J. (2013) Hydrological Changes and Estuarine Dynamics. *Springerbriefs in Environmental Science*:8: 94-96
- Morris, A. W., Mantoura, R. F. C., Bale, A. J., Howland, R. J. M. (1978) Very low salinity regions of estuaries: important sites for chemical and biological reactions. *Nature* 274, 678-680
- Moyle, P.B. (2008) The future of fish in response to large-scale change in the San Francisco Estuary, California. In: McLaughlin KD, editor. Mitigating impacts of natural hazards on fishery ecosystems. American Fisheries Society, Symposium 64, Bethesda, Maryland: 357-374
- Munda, B., Trutin, M., Pribeg, D. (2009) Novelacija granica zaštitnih zona vodocrpilišta riječkog vodoopskrbnog sustava. *GeoAqua*, Zagreb. neobjavljeni elaborat
- Murrell, M.C. i Lores, E.M. (2004) Phytoplankton and zooplankton seasonal dynamics in a subtropical estuary: importance of cyanobacteria. *J. Plankton Res.*, 26: 371-38
- Najdek, M., Blažina, M., Djakovac, T., Kraus, R. (2005) The role of the diatom *Cylindrotheca closterium* in a mucilage event in the northern Adriatic sea: coupling with high salinity water intrusions. *Journal of plankton research*, 27, 851 – 862
- Neff, K.P. i Baldwin, A.H. (2005) Seed dispersal into wetlands: techniques and results for a restored tidal freshwater marsh. *Wetlands*, 25, 392–404
- Nerlović, V., Alper, D., Perić, L. (2012) "First record of *Anadara transversa* (Mollusca: Bivalvia: Arcidae) in Croatian waters (Adriatic Sea)." *Acta Adriatica* 53.1 (2012): 139-144
- Nixon, S.W., Oviatt, C.A., Frithsen, J., Sullivan, B. (1986) Nutrients and the productivity of estuarine and coastal marine ecosystems. *Journal of the Limnological Society of South Africa* 12:43-71
- Ogorelec, B., Sercelj, A., Faganeli, J., Stegnar, P. (1981) Sediment secovljske soline (sediment of the salt march of Secovlje). *Geologija* 24, 179 – 216
- Orlić, M., Ferenčak, M., Gržetić, Z., Limić, N., Pasarić, Z., Smirčić, A. (1991) High – frequency oscillations observed in the Krka Estuary. *Marine chemistry*, 32, 137 – 151
- Paerl, H.W. (1997) Coastal eutrophication and harmful algal blooms: importance of atmospheric deposition and groundwater as “new” nitrogen and other nutrient sources. *Limnol Oceanogr*;42:1154–65
- Paeri, H. (1995) Coastal eutrophication in relation to atmospheric nitrogen deposition: Current perspectives. *Ophelza* 41: 237-259
- Palmer, T., Montagna, P.A., Kalke, R.D. (2008) Benthic Indications of the Initial Effect of Opening a Channel at Packery Channel. *Environmental Bioindicators* 3:205-206
- Pavelić, D. (2005) Stratigrafska determinacija naslaga jadranskog podmorja u okolici Pelješca [Stratigraphic determination Adriatic sea bed sediments in the vicinity of Pelješac]. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Unpubl. Report 13-477/1-60/05

- Pavelić, D., Kovačić, M., Vlahović, I., Mandić, O., Marković, F., Wacha, L. (2014) Topography controlling the wind regime on the karstic coast: late Pleistocene coastal calcareous sands of eastern mid-Adriatic, Croatia.– *Facies*, 60, 843–863
- Paytan, A., Cade-Menun, B.J., McLaughlin, K., Faul, K.L. (2003) Selective phosphorus regeneration of sinking marine particles: evidence from <sup>31</sup>P-NMR. *Marine Chemistry*, 82 (1-2): 55-70
- Pecko, L. (2018) Fotosinteza u moru, utjecaj na globalnu klimu, završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet
- Petan, S., Šraj, M., Zorn, M., Vidmar, A., Matjaž, M., Brilly, M. (2008) Measurements and modelling of rainfall interception and soil erosion processes on the Dragonja experimental river basin, 27-31
- Pikelj, K. i Juračić, M. (2013) Eastern Adriatic Coast (EAC): Geomorphology and Coastal Vulnerability of a Karstic Coast. *Journal of Coastal Research*, Vol. 29 (4), pp. 944-957
- Platt, T., Subba Rao, D.V., Irwin, B. (1983) Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean. *Nature*, 301: 702-70
- Quintino V., Elliott, M., Rodrigues, A.M. (2006) The derivation, performance and role of univariate and multivariate indicators of benthic change: case studies at differing spatial scales. *J Ex Mar Biol Ecol*;330:368–82
- Rand, T.A. (2000) Seed dispersal, habitat suitability and the distribution of halophytes across a salt marsh tidal gradient. *Journal of Ecology*, 88, 608–621
- Randall, R. G., Minns, C. K., Kelso, J. R. M. (1995) Fish production in freshwaters: are rivers more productive than lakes? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52, 631–643
- Rodríguez-Obeso, O., Alvarez-Guerra, M., Andrés, A., DelValls, T.A., Riba, I., Martín-Díaz, M.L., Viguri, J.R. (2007) Monitoring and managing sediment quality and impact assessment in Spain in the past 10 years. *Trend Anal Chem*;26:255–60
- Roubeix, V., Rousseau, V., Lancelot, C. (2008) Diatom succession and silicon removal from freshwater in estuarine mixing zones: from experiment to modelling. *Estuarine Coastal Shelf Sci*;78:14–26
- Rovere, A., Stocchi, P., Vacchi, M. (2016) Eustatic and Relative Sea Level Changes. *Current Climate Change Reports*, 2/4, 221-231
- Ruttenger, K.C. (2003) The global phosphorus cycle. In: Schlesinger WH, editor. *Treatise on geochemistry*, 8. Elsevier; 585–643
- Rubini, J. (2004) The geotechnical properties of the sediment body in the estuary of the Raša River, Croatia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 68
- Rubinić, J. i Ožanić, N. (1997) Prirodne hidrološke značajke površinskih vodnih pojava Županije primorsko-goranske, Hrvatske vode – VGO Rijeka
- Rubinić J. i Sarić, M. (2005) Hidrologija vodnih resursa u slivu Rječine. *Water Resources Hydrology of the Rječina Catchment Area*. In: Linic, A. (ed.), *Prošlost, Sadašnjost i Budućnost Vodoopskrbe i Odvodnje—Iskustva i Izazovi*. Opatija, Croatia, pp. 199–207 [in Croatian]
- Ryther, J. i Dunstan, W. (1971) Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science* 171:1008-1112
- Schelske, C. L., i Odum, E. P. (1962) Mechanisms maintaining high productivity in Georgia estuaries.
- Schelske, C. L. i Odum, E.P. (1962) Mechanisms maintaining high productivity in Georgia estuaries."
- Siever, R. (1971) In: Wedepohl: *Handbook of geochemistry*. Berlin: Springer-Verlag; p. 442
- Sipura, J., Haukka, K., Helminen, H., Lagus, A., Suomela, J., Sivonen, K., (2005) Effect of nutrient enrichment on bacterioplankton biomass and community composition in mesocosms in the Archipelago Sea, northern Baltic. *Journal of Plankton Research* 27, 1261-1272
- Skejić, S., Vilibić, I., Matijević, S., Jozić, S., Gladan, Ž.N., Morović, M., Marasović, I., Prelesnik, H. (2015) Long-Term Regulating Mechanisms of Phytoplankton Biomass in a Traditional Shellfish Aquaculture Area. *Fresenius Environ. Bull*, 24, 3001–3013.

- Soldo, B., Mesec, J., Orešković, M. (2010) "Anthropogenic effects on the environment in the delta of the River Neretva." : 1-6.
- Sondi, I., Juračić, M., Pravdić, V. (1995) Sedimentation in disequilibrium river-dominated estuary: the Raša River Estuary (Adriatic Sea, Croatia). *Sedimentology*, 42, pp. 769-782
- Smith, P.E., (2006) A Semi-implicit, Three-dimensional Model for Estuarine Circulation. Open-File Report, U.S. Ge, 11-16
- Specht, D. T. (1974) The use of standardized marine algal bioassays for nutrient assessment of Oregon coastal estuaries. *Proceedings 4th Annual Technical Conference on Estuaries of the Pacific Northwest*. *Oreg. State Univ., Corvallis*. Pages 15-31
- Statham, P.J. (2012) Nutrients in estuaries--an overview and the potential impacts of climate change. *Sci Total Environ.*;434:213-27
- Surić, M. (2009) Rekonstrukcija promjena morske razine na istočnoj obali Jadrana (Hrvatska) – *pregled*. *Geoadria*, 14(2), 181-199
- Šantić D., Krstulović N., Šolić, M., Ordulj M. and Kušpilić, G. (2013) Dynamics of prokaryotic picoplankton community in the central and southern Adriatic Sea (Croatia). *Helgoland Marine Research* 67, 471–481
- Šiletić, T. (2006) Marina fauna of Mljet national park (Adriatic Sea), Croatia: 5. Mollusca: Bivalvia. *Nat. Croat.* 15: 109-169
- Šolić, M., Krstulović, N., Šantić, D., Šestanović, S., Ordulj, M., Bojanić, N., Kušpilić, G. (2015) Structure of microbial communities in phosphorus-limited estuaries along the eastern Adriatic coast. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 95(8): 1565-1578
- Thompson, P.A. (1998) Spatial and temporal patterns of factors influencing phytoplankton in a salt wedge estuary, the Swan River, western Australia. *Estuaries* 21, 801-817
- Underwood, G.J.C., Kromkamp, J. (1999) Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Adv Ecol Res*;29:93-153
- Trigueros, J. M. i Orive, E. (2001): Seasonal variations of diatoms and dinoflagellates in a shallow, temperate estuary, with emphasis on neritic assemblages. – *Hydrobiologia* 444: 119 – 133
- Vale P. i Taleb H. (2005) Assessment of the qualitative determination of paralytic shellfish poisoning toxins by pre-column derivatization and elimination of interfering compounds by solid-phase extraction. *Food Addit. Contam. A* 22: 838-846
- Valiela, I. i Costa, J.E. (1988) Eutrophication of Buttermilk Bay, a Cape Cod coastal embayment: Concentrations of nutrients and watershed nutrient budgets. *Environmental Management* 12:539-553
- Van Beusekom, J.E.E., de Jonge, V.N. (1998) Retention of phosphorus and nitrogen in the Ems estuary. *Estuaries*;21:527–39
- Vaniček, V., Juračić, M., Bajaraktarević, Z., Čosović, V. (2000) Benthic Foraminiferal Assemblages in a Restricted Environment – An Example from the Mljet Lakes (Adriatic Sea, Croatia).– *Geologia Croatica*, 53, 269–279
- Vargas, C., Nuno Vaz, I.C., Dias, J.M. (2017) "An evaluation of climate change effects in estuarine salinity patterns: Application to Ria de Aveiro shallow water system." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 189 (2017): 33-45
- Vego, J. i Radović, J.(2002) Donja Neretva – Prekogranično močvarno područje, 'Novosti' – Istraživačka djelatnost, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru
- Velić, I., Tišljarić, J., Matičec, D., Vlahović, I. (1995) A review of the Geology of Istria, Excursion Guide-book: 1st Croatian Geological Congress (Vlahović, I. and Velić, I., eds. Institute of Geology and Croatian Geological Society), pp. 5-30, Zagreb
- Viličić, D. (1989) Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea. *Hydrobiologia*, 174, 117 – 132
- Viličić, D., Kršinić, F., Carić, M., Jasprica, N., Bobanović-Čolić, S., Mikuš, J. (1995) Plankton and hydrography in a moderately eastern Adriatic Bay (Gruž Bay). *Hydrobiologia*, 304(1), 9-22

- Viličić, D., Orlić, M., Burić, Z., Carić, M., Jasprica, N., Kršinić, F., Smirčić, A., Gržetić, Z. (1999) Patchy distribution of phytoplankton in a highly stratified estuary (the Zrmanja estuary, October 1998). *Acta Botanica Croatica*, 58 (1), 105-125
- Viličić, D., Carić, M., Buric, Z., Olujić, G. (2001) Distribution of nutrients and phytoplankton in the karstic estuary (the Zrmanja River, eastern Adriatic Sea). *Rapp Comm Int Mer Médit*, 36, 424.
- Viličić, D., Jasprica, N., Carić, M. (1995) The Ombla River estuary: Phytoplankton “blooming”, eutrophication and protection”, In: *The Proceedings of 2nd Croatian Conference on Waters*, Dubrovnik, May, 24-27, 497-506
- Vivoda, S. i sur. (2012) Geohazard u dolini Rječine u prošlosti i sadašnjosti. *Hrvatske vode*, 20(81), 105-116
- Vranješ, M. i sur. (2004) Obrana od zaslanjivanja vode i tla u donjoj Neretvi. Razvojni projekt, Građevinski fakultet (Split) i Hrvatske vode (Zagreb)
- Vrgoč, N. (2000) Structure and Dynamic of Demersal Fish Communities of the Adriatic Sea. Zagreb, Croatia: University of Zagreb, Doctoral thesis, 197p
- Vrhovšek, D. (1989) Ecological study in the frame of the project Fiesa-Piran. Study research project. National institute of Biology, Ljubljana
- Wang, Q., Li, Y. (2010) Phosphorus adsorption and desorption behavior on sediments of different origins. *J Soils Sediments*;10:1159–73
- Whitfield, A. K. (1996) A review of factors influencing fish utilization of South African estuaries. *Transactions of the Royal Society of South Africa* 51, 115–137
- Wofsy, S. C. (1983) A simple model to predict extinction coefficients and phytoplankton biomass in eutrophic waters. *Limnology and Oceanography*, 28, 1144-1155
- Wolanski, E., Spagnol, S., Thomas, S., Moore, K., Alongi, D.M., Trott, L., et al. (2000) Modelling and visualizing the fate of shrimp pond effluent in a mangrove-fringed tidal creek. *Soil Biol Biochem*;50:85–97
- Žic, E., Palinić, N., Čebuhar, L., Kajapi, I. (2012) Brana i akumulacija Valići na vodotoku Rječine (sažetak), V. međunarodna konferencija o industrijskoj baštini posvećena temi Rijeka i industrijsko graditeljsko naslijeđe - baština arhitekture i građevinarstva (održana 25. - 26. svibnja 2012.): Zbornik sažetaka, Palinić, Nana (ur.). - Rijeka : Pro Torpedo, 48-49

#### Internetski izvori:

- URL 1: Estuarij, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. , <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18450> (pristupljeno 01.04.2022.)
- URL 2: NOAA, <https://oceanservice.noaa.gov/facts/estuary.html> (pristupljeno 01.04.2022.)
- URL 3: Hrvatska enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18450> (pristupljeno 01.04.2022.)
- URL 4: Slide player, <https://slideplayer.com/slide/10085868> (pristupljeno 01.04.2022.)
- URL 5: Britannica, <https://www.britannica.com/science/estuary> (pristupljeno 01.04.2022.)
- URL 6: Izzi digital knjižnica, <https://hr.izzi.digital/DOS/1660/1823.html> (pristupljeno 03.03.2022.)
- URL 7: The estuary of life, <https://theestuaryoflife.weebly.com/> (pristupljeno 05.04.2022.)
- URL 8: Science learn, <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1230-life-in-the-estuary> (pristupljeno 05.04.2022.)
- URL 9: The National Environmental Education Foundation, <https://www.neefusa.org/nature/water/americas-estuaries> (pristupljeno 07.04.2022.)
- URL 10: Hrvatska enciklopedija, rijeka Cetina, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=11348> (pristupljeno 07.04.2022.)
- URL 11: Hrvatske vode, <https://www.voda.hr/hr/novosti/ljepotice-jadranskog-sliva-neretva-lika-zrmanja-krka-cetina> (pristupljeno: 07.04.2022.)
- URL 12: Klasifikacija prijelaznih voda, [http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori\\_podaci\\_sel\\_detalji2?p\\_ind\\_br=2B05&p\\_godina=2012&p\\_raz\\_doblje\\_od=](http://baltazar.izor.hr/azopub/indikatori_podaci_sel_detalji2?p_ind_br=2B05&p_godina=2012&p_raz_doblje_od=) (pristupljeno: 07.04.2022.)

## Tablica slika

Slika 1. Rijeka Gironde koja teče kroz Francusku i ulijeva se u Atlantski ocean, izvor URL 3: <a href="https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18450">https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18450</a> .....	3
Slika 2. Podjela estuarija (s desna na lijevo, gore prema dolje), 1. liman (bar-built estuary), 2. tektonski estuarij, 3. potopljena riječna ušća, 4. fjord, izvor URL 4: <a href="https://slideplayer.com/slide/10085868/">https://slideplayer.com/slide/10085868/</a> .....	4
Slika 3. Tip estuarija prema salinitetu, A-slani klin, B-djelomično izmiješan, C-vertikalno homogeni estuarij, D-jako stratificirani estuarij, izvor URL 5: <a href="https://www.britannica.com/science/estuary">https://www.britannica.com/science/estuary</a> .....	5
Slika 4. Estuarij La Plata, najveći estuarij na svijetu, izvor URL 6: <a href="https://hr.izzi.digital/DOS/1660/1823.html">https://hr.izzi.digital/DOS/1660/1823.html</a> .....	7
Slika 5. Ribe u estuariju, izvor: Ferreira i sur. 2019. ....	9
Slika 6. Neke od biljaka u estuariju, izvor URL 7: <a href="https://theestuaryoflife.weebly.com/">https://theestuaryoflife.weebly.com/</a> .....	10
Slika 7. Prehrambeni lanac u estuariju, izvor URL 8: <a href="https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1230-life-in-the-estuary">https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1230-life-in-the-estuary</a> .....	10
Slika 8. Infauna u muljevitom dnu estuarija, Castro i Huber (2008) <i>Marine Biology</i> , 293 .....	12
Slika 9. . Primjer ptice koja obitava i hrani se u estuariju, izvor URL 9: <a href="https://www.neefusa.org/nature/water/americas-estuaries">https://www.neefusa.org/nature/water/americas-estuaries</a> .....	12
Slika 10. Fotosinteza u moru, izvor: Pecko, L. (2018).....	14
Slika 11. Kruženje makronutrijenata u estuariju, izvor: Statham, P.J. (2012) 214.....	18
Slika 12. Tok rijeke Dragonje, izvor: Petan i sur., (2008.).....	22
Slika 13. Estuarij Mirne, izvor: <a href="https://www.coloursofistria.com/hr/priroda-kampovi/prirodne-ljepote/usce-rijeke-mirne-posebni-ornitoloski-rezervat">https://www.coloursofistria.com/hr/priroda-kampovi/prirodne-ljepote/usce-rijeke-mirne-posebni-ornitoloski-rezervat</a> .....	24
Slika 14. Limski kanal u Istri, izvor: Nerlović i sur., (2012.).....	25
Slika 15. Rijeka Raša na istarskom poluotoku, izvor: Rubini (2004.).....	27
Slika 16. Orto karta ušća Raše, izvor: Benac i sur., (2017.).....	28
Slika 17. Pregledna geološka karta sliva Rječine, izvor: Vivoda i sur., (2012.).....	29
Slika 18. Estuarij Rječine, izvor: Krvavica i sur., (2013.).....	30
Slika 19. Lokacija rijeke Zrmanje i estuarija, izvor: Viličić i sur., (1999.).....	32
Slika 20. Estuarij Zrmanje, izvor: Goran Šafarek.....	33
Slika 21. Sliv rijeke Krke, izvor: <a href="https://www.bioportal.hr/gis/">https://www.bioportal.hr/gis/</a> .....	36
Slika 22. Donji tok rijeke Jadro, izvor: Ljubenković i Vraneš (2013.).....	37
Slika 23. Hidrogeološko porječje Cetine, izvor: Jagušić (2019.).....	38
Slika 24. Ulazak rijeke Neretve u Jadransko more izvor: Krvavica i Ružić (2020.) .....	39
Slika 25. Aluvijalno proširenje rijeke Neretve, izvor: <a href="https://hr.wikipedia.org/wiki/Neretva#/media/Datoteka:Dalmatia_Neretva_river_delta_IMG_9877.JPG">https://hr.wikipedia.org/wiki/Neretva#/media/Datoteka:Dalmatia_Neretva_river_delta_IMG_9877.JPG</a> .....	41
Slika 26. Ulijevanje rijeke Omble u Jadransko more, izvor: Viličić i sur., (1995.).....	41