

Procjena unosa hranjivih tvari u akvatorij Bračkog kanala

Peović, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:024633>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE**

DIPLOMSKI RAD

Josip Peović

Split, 2019.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE**

Josip Peović

**Procjena unosa hranjivih tvari u akvatorij
Bračkog kanala**

Diplomski rad

Split, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Josip Peović

BROJ INDEKSA: 590

KATEDRA: **Katedra za privrednu hidrotehniku**

PREDMET: Iskorištenje vodnih snaga

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Procjena unosa hranjivih tvari u akvatorij Bračkog kanala

Opis zadatka: Kandidat je zadužen da korištenjem svih dostupnih alata odradi analizu unosa hranjivih tvari, s naglaskom na spojeve dušika i fosfora, u akvatoriju Bračkog kanala, te istu potom koristi za proračune stanja koncentracija na primjeru dva ušća.

Zbog važnosti priobalnih područja, kandidat ima cilj u cjelini obraditi tematiku važnosti priobalnih područja, utjecaja unosa hranjivih tvari na iste, samostalno identificirati izvore podataka; izraditi pripadajuće baze istih; odraditi procjene unosa u predmetni akvatorij. Procijenjene količine unosa se potom trebaju primijeniti na lokaliziranim područjima ušća rijeka Jadro i Žrnovnica u svrhu proračuna statističkih parametara koncentracije hranjivih tvari, a korištenjem programskog rješenja – CPoRT. Za oba ušća će se napraviti procjena stanja po pitanju ukupnog dušika i fosfora za trenutno stanje i za nepovoljni scenarij.

Rad uključuje sljedeće stavke:

- Identifikacija izvora relevantnih podataka za stvaranje hranjivih tvari koje će potom dospjeti u vodne resurse,
- Prikupljanje podataka i izrada baze podataka iz svih identificiranih izvora,
- Analiza količina i putova unosa hranjivih tvari koje dopijevaju u akvatorij Bračkog kanala,
- Proračun lokalnog utjecaja unosa hranjivih tvari na primjerima ušća rijeka Jadro i Žrnovnica korištenjem računalnog programa CPoRT,
- Prezentacija i analiza dobivenih rezultata.

U Splitu, 15.10.2018.

Voditelj Diplomskog rada:

Dr. sc. Roko Andričević

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Doc. dr. sc. Ivo Andrić

Procjena unosa hranjivih tvari u akvatorij Bračkog kanala

Sažetak:

Ovim diplomskim radom analizirani su svi potencijalni uzroci i veličine opterećenja hranjivim tvarima (ukupni dušik i fosfor) koja direktno utječu na priobalne vode akvatorija Bračkog kanala tijekom ljetne sezone. Podatci korišteni u analizi uzeti su iz posljednjeg raspoloživog perioda, tj. iz 2017. godine.

Nakon identificiranja izvora podataka, prikupljene su sve dostupne informacije o opterećenjima za promatrano područje. S obzirom da su rijeke značajan izvor opterećenja, posebno je istražen utjecaj Jadra i Žrnovnice. Nakon procjenjivanja količina hranjivih tvari koje svaki sliv proizvodi, dobivene su statističke distribucije njihovih koncentracija u ušćima koristeći CPoRT (Coastal Pollution Risk Tool) aplikaciju. Statistička analiza provedena u ušćima napravila je procjenu rizika za premašivanje dopuštenih vrijednosti koncentracija koje su određene u regulativama o kvaliteti površinskih voda.

Ključne riječi:

opterećenja hranjivim tvarima, ukupni dušik, ukupni fosfor, Brački kanal, rijeka Jadro, rijeka Žrnovnica, koncentracija, procjena rizika, kumulativna funkcija distribucije, momenti koncentracije

Assessment of nutrient input in the coastal waters of Brač Channel

Abstract:

This thesis analyzes all the potential sources and quantities of nutrient loadings (total nitrogen and total phosphorus) that are directly influencing coastal waters of the Brač Channel during the summer season. Data used for analysis were taken from the last available period, i.e. from the year 2017.

After identifying data sources, all available information about loadings were collected for the region of the interest. Since rivers are important nutrient loading sources, the impact of Jadro and Žrnovnica was specifically investigated. Moreover, following the estimated quantities of nutrient generated in their basins, the concentration distribution statistics in estuaries are obtained using the CPoRT (Coastal Pollution Risk Tool) application. The conducted statistical analysis in estuaries delivered the risk assessment for exceeding the values of limit concentration defined by surface water quality regulations.

Keywords:

nutrient loadings, total nitrogen, total phosphorus, Brač Channel, Jadro river, Žrnovnica river, concentration, risk assessment, cumulative distribution function, concentration moments

Zahvala:

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Roku Andričeviću, koji je svojim znanstvenim i stručnim savjetima oblikovao ideju i pomogao mi u izradi ovoga diplomskog rada. Veliku zahvalnost dugujem i voditeljici moga diplomskog rada, asistentici dr. sc. Moreni Galešić, koja je svojom susretljivošću, strpljenjem i detaljnim iščitavanjima uvelike olakšala izradu ovog rada.

Također zahvalu upućujem i Vodovodu i kanalizaciji Split na ustupljenim podacima korištenima pri izradi diplomskog rada.

Posebno se želim zahvaliti svojim roditeljima koji su me tokom čitavog mog školovanja podupirali i poticali moju težnju ka ostvarivanju sve viših i viših ciljeva.

Želim se zahvaliti i svim djelatnicima Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Splitu koji su svojim radom pomogli u stjecanju moga znanja o građevini i graditeljstvu te životu u struci i oko nje.

I na kraju želim se zahvaliti svim kolegama koji su mi vrijeme provedeno na fakultetu uljepšali svojim prisustvom i pomogli da to vrijeme smatram najljepšim dijelom svoga života.

S a d r Ź a j

1. UVOD.....	1
1.1 Ciljevi rada	2
1.2 Struktura rada	2
1.3 Okvirna direktiva o pomorskoj strategiji – ODPS (Marine Strategy Framework Directive - MSFD).....	3
1.4 Pregled glavnih uzročnika povećanog unošenja hranjivih tvari u vode	8
1.4.1 Otpadne vode iz domaćinstava i gradska kanalizacija	9
1.4.2 Industrija	11
1.4.3 Intenzivna poljoprivreda	11
1.4.4 Marikultura	11
1.4.5 Urbanizacija/Gradnja	12
1.5 Posljedice previše hranjivih tvari u morskoj vodi.....	12
2. METODOLOGIJA I REZULTATI.....	14
2.1. Analiza unosa opterećenja na razini akvatorija Bračkog kanala.....	14
2.1.1. Identifikacija izvora i prikupljanje podataka	14
2.1.2. Korištenje Corine land cover Hrvatska podataka	16
2.1.3. Identifikacija glavnih proizvođača hranjivih tvari	17
2.1.4. Utjecaj unosa hranjivih tvari putem rijeka Jadro i Žrnovnica	22
2.2. Utjecaj opterećenja unesenog u more putem ušća rijeka na promatranom području (Jadro, Žrnovnica)	33
2.2.1. Kratak opis metodologije koju primjenjuje aplikacija CPoRT	33
2.2.2. Izračun statističkih parametara koncentracije hranjivih tvari za stanje zadnje mjerenih protoka iz 2017. godine	37

2.2.3. Izračun statističkih parametara koncentracije hranjivih tvari za stanje najmanje izmjerenog ljetnog protoka u proteklih 35 godina i povećanog opterećenja	60
3. ZAKLJUČAK.....	76
4. LITERATURA	77

1. UVOD

„Kad izvor presuši, tek onda znamo vrijednost vode.“

(Benjamin Franklin)

Voda, koju čovjek s divljenjem prikuplja i njeguje od pradavnoga doba je, za razliku od ostalih prirodnih pojava, neodvojiva od njega samoga. Voda je preduvjet života, kulture i gospodarske moći, a najbolje to dokazuju rađanja starih civilizacija na ušćima rijeka. I u današnje vrijeme obalna područja imaju razne prednosti za život, pa su to jedna od najgušće naseljenih područja, s čime se ujedno povećava i unos hranjivih tvari u vode.

Glavni uzročnici povećanog unosa hranjivih tvari u vode su otpadne vode iz domaćinstava i gradska kanalizacija, industrija, intenzivna poljoprivreda, marikultura te urbanizacija, što za posljedicu ima promjene strukture hranidbenog lanca i eutrofikaciju, a to se može manifestirati kao pad kvalitete vode, zamućenje vode te naposljetku ugibanje flore i faune.

Iznimno je važno razvijati svijest o važnosti pitke vode, istaknuti važnost zaštite i gospodarenja vodom, razvijati ekološku svijest kao i pravilan odnos prema čuvanju i zaštiti vode kako bi se održala biološka raznolikost. Stoga postoje i različite direktive o vodama kao što su Okvirna Direktiva o Vodama i Okvirna Direktiva o Pomorskoj Strategiji.

Za analizu stanja vode i okoliša provode se razna istraživanja te razvijaju nove metodologije i računalni programi, a dobiveni podatci služe za donošenje novih i poboljšanje trenutnih mjera u svrhu očuvanja dobrog stanja okoliša.

1.1 Ciljevi rada

Prvi cilj je prikupljanje i čitanje osnovne literature (ODV, ODPS, itd.) te upoznavanje s pojmovima koji će se koristiti u ovom radu.

Drugi cilj je analizirati potencijalne izvore opterećenja hranjivim tvarima dušikom i fosforom za odabrano područje te prikupiti podatke o količinama istih, bilo kroz dostupnu literaturu ili kroz kontakt s institucijama zaduženima za monitoring tih područja.

Treći cilj je na osnovu prikupljenih podataka izvršiti procjenu trenutnog unosa dušika i fosfora u Brački kanal.

Četvrti cilj je prikupiti podatke o protocima rijeka Jadro i Žrnovnica, opterećenjima ukupnog dušika i fosfora s područja njihovih slivova te izvršiti statističku analizu tih podataka, za trenutno stanje i kritično stanje niskih protoka iz 1994. godine za Jadro i 1993. godine za Žrnovnicu.

1.2 Struktura rada

Rad je podijeljen u dva poglavlja.

Prvo poglavlje se odnosi na opis metoda, izračuna i rezultata koji su se koristili u ovome radu te se sastoji od 2 potpoglavlja. Unutar tog poglavlja, pojasnit će se način na koji su prikupljeni podatci o izvorima opterećenja hranjivim tvarima iz dostupnih izvora, baza podataka i nadležnih institucija, te će se na osnovu svih prikupljenih podataka izvršiti identifikacija i proračun veličine svih opterećenja na Brački akvatorij, kao i utjecaj specifičnog opterećenja iz rijeka Jadro i Žrnovnice na područja njihovih ušća.

Prvo potpoglavlje će razmatrati različite izvore prikupljenih podataka te sami sadržaj dobivenih podataka, s posebnim naglaskom na digitalnu bazu podataka CORINE, identifikaciju i izračun opterećenja iz glavnih proizvođača hranjivih tvari za područje Bračkog akvatorija te utjecaj pronosa kroz ušća rijeka Jadro i Žrnovnica.

Drugo potpoglavlje će se fokusirati isključivo na proračun opterećenja koja se na području ušća rijeka Jadro i Žrnovnice unose u morski okoliš te izračun statističkih parametara koncentracije hranjivih tvari u moru koju ta opterećenja stvaraju, koristeći alat CPoRT.

U drugom poglavlju će se prikazati zaključno razmatranje na ovu temu te na temelju toga dati neke smjernice za budućnost.

1.3 Okvirna direktiva o pomorskoj strategiji – ODPS (Marine Strategy Framework Directive - MSFD)

Europska unija je u sklopu zaštite mora i morskih okoliša donijela Okvirnu direktivu o vodama (ODV 2000/60/EC) 2000. godine i Zajedničku ribarstvenu politiku (ZRP) koja se stalno nadopunjava još od 1970. godine. Kako ova dva propisa nisu pokrivala cjelokupno područje morskih voda, bilo je potrebno definirati dodatne propise. Tako su donijeti *Integralno upravljanje obalnim područjem* (IUOP¹) i Okvirna direktiva o pomorskoj strategiji.

Okvirna direktiva o pomorskoj strategiji (ODPS 2008/56/EZ) usvojena je od strane Vijeća Europske Unije i Europskog Parlamenta 17. lipnja 2008. godine. Njome je uspostavljen okvir za djelovanje Europske zajednice u području politike morskog okoliša.

Okvirna direktiva o pomorskoj strategiji je glavni pravni dokument Europske zajednice za zaštitu svih mora koja su pod nadležnosti članica Europske Zajednice (dalje u tekstu samo Zajednica), uključujući vode Sredozemnog mora, Baltičkog mora, Crnog mora, sjeveroistočnog Atlantskog oceana te vode koje okružuju Azore, Madeiru i Kanare.

Od postojećih regionalnih i europskih konvencija s kojima se ODPS preklapa u nekim segmentima tu su Okvirna direktiva o vodama (ODV 2000/60/EC), Direktiva o staništima (92/43/EEC), Direktiva o pticama (2009/147/EC) i Zajednička ribarstvena politika EU.[11]

Glavni cilj ove direktive je postizanje *dobrog stanja okoliša* (DSO) u moru svih država članica, najkasnije do 2020. godine, te zaštita resursa o kojima ovise sve ekonomske i društvene aktivnosti vezane uz more i morske aktivnosti.

Dobro stanje okoliša mora definirano je kao „stanje okoliša morskih voda u kojem su očuvani ekološki raznoliki i dinamični oceani i mora koji su čisti, zdravi i produktivni u svojim prirodnim uvjetima, uporaba morskog okoliša na održivoj je razini, čime se čuva potencijal za uporabu i aktivnosti za sadašnje i buduće generacije“.[12]

Glavni uvjet ovog dokumenta za postizanje *dobrog stanja okoliša* jest da biološka raznolikost bude održana do 2020. godine, što čini ovu direktivu prvim pravnim dokumentom Europske Unije koji se temelji na zaštiti morske biološke raznolikosti.

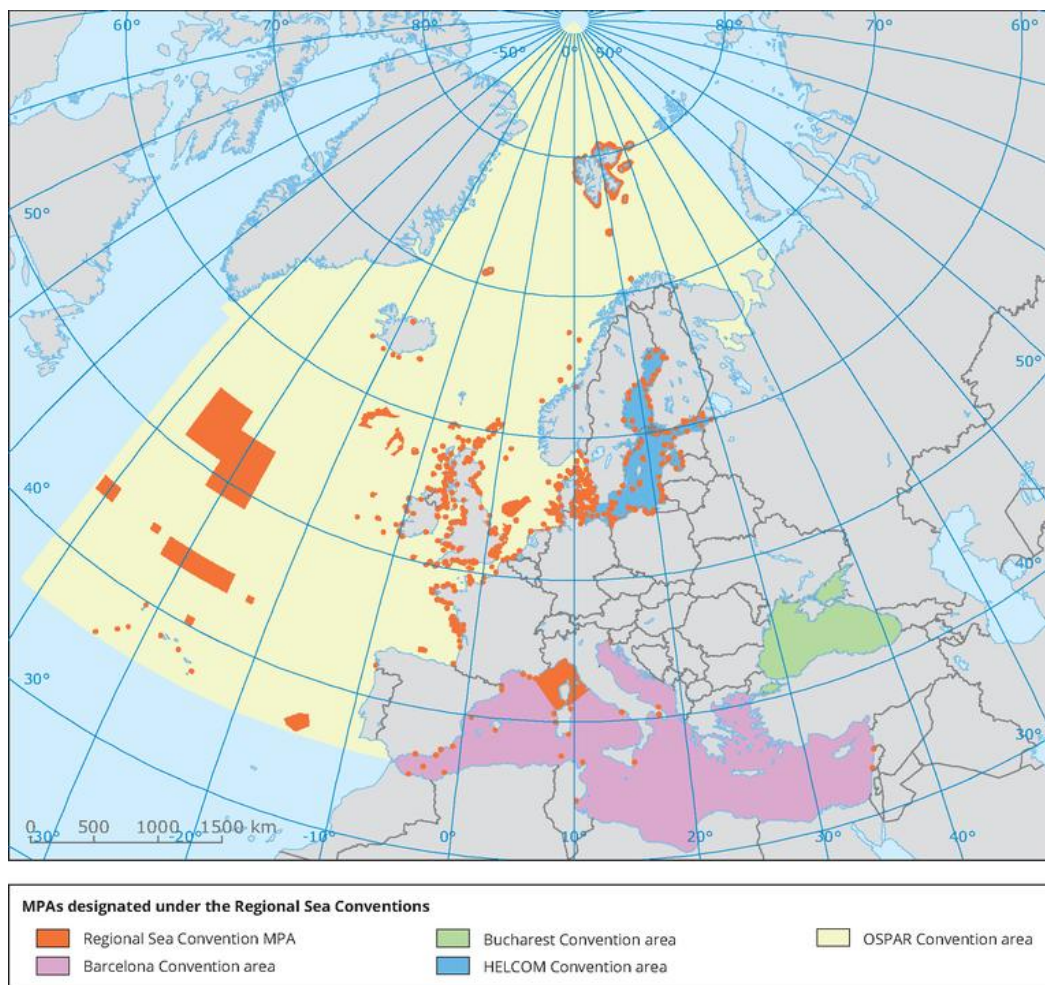
¹ Integrated Coastal Zone Management (ICZM) Protocol - Napisan 2008., dodan 2010. u Konvenciju o zaštiti morskog okoliša i obalnog područja Sredozemnog mora (Barcelonska konvencija), stupio na snagu kao dio EU pravne stečevine, nakon što ga je ratificiralo šest članica EU 2011.

To se postiže:

1. očuvanjem i zaštitom morskog okoliša, bilo to sprječavanjem njegova propadanja ili ako je moguće, obnavljanjem ekosustava na zagađenim područjima.
2. smanjenjem ili čak potpunim uklanjanjem unosa zagađivača u morski okoliš, čime bi se morskom ekosustavu omogućilo prirodno samopročišćavanje i vraćanje u ravnotežno stanje.

U svrhu ostvarenja svojeg cilja, ovom direktivom su vode članica Europske Unije na osnovu geografskih i ekoloških kriterija odijeljene u 4 regije: regiju Baltičkog mora, regiju Crnog mora, regiju Sredozemnog mora te regiju sjeveroistočnog Atlantskog oceana. Granice tih regija su uređene *regionalnim morskim konvencijama*², koje također služe za međunarodnu suradnju zemalja članica koje dijele iste morske vode (slika 1.1). Za morske vode Hrvatske relevantna je Konvencija o zaštiti morskog okoliša i obalnog područja Sredozemnog mora, tzv. Barcelonska konvencija.

² Konvencija o zaštiti morskog okoliša područja Baltičkog mora, Konvencija o zaštiti morskog okoliša sjeveroistočnog Atlantika, Konvencija o zaštiti morskog okoliša i obalnog područja Sredozemnog mora, Konvencija o zaštiti Crnog mora od onečišćenja

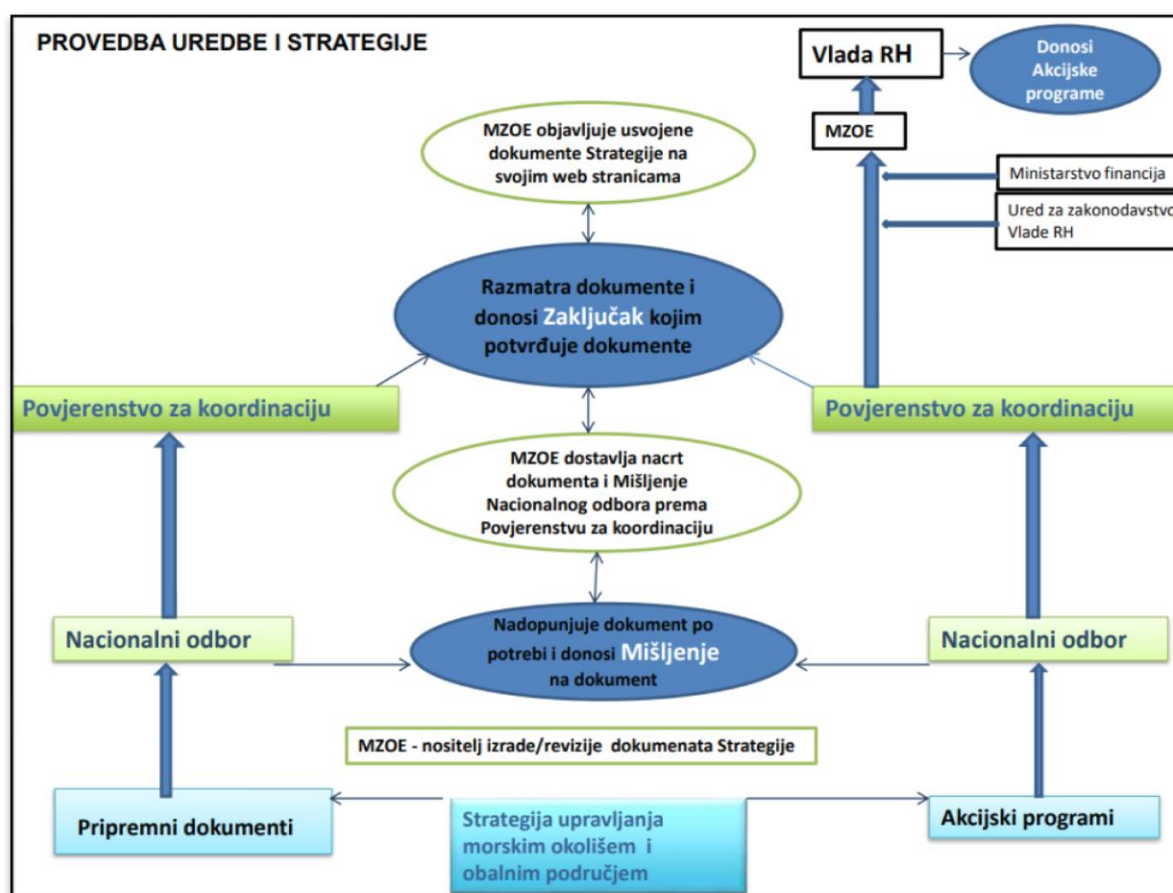


Slika 1.1 Prikaz regionalnih morskih konvencija te područja koja su njima obuhvaćena

Republika Hrvatska je pristupanjem Europskoj uniji pristala na usvajanje njezine pravne stečevine, u kojoj su uključeni ODPS i IUOP. Time se obvezala uskladiti nacionalno zakonodavstvo s odredbama ODPS-a te izraditi Strategiju zaštite morskog okoliša, tj. Pomorsku strategiju, i nacionalnu strategiju integralnog upravljanja obalnim područjima.

Vlada RH je 2014. godine donijela Uredbu o izradi i provedbi Strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem Republike Hrvatske, u kojoj su razrađene obje tražene strategije. Navedena uredba i Zakon o zaštiti okoliša čine nacionalni pravni okvir za zaštitu morskog okoliša u Hrvatskoj.

Cijeli proces izrade i revizije Strategije je pod nadležnosti Ministarstva zaštite okoliša i energetike, uz stručnu suradnju Programa prioritetnih akcija/Centra za regionalne aktivnosti (PAP/RAC), Mediteranskog akcijskog plana (MAP) i Programa Ujedinjenih naroda za okoliš (UNEP). Za pripremu i provedbu Pomorske Strategije (u daljnjem tekstu „Strategija“) formirani su Povjerenstvo za koordinaciju, u kojem sjede ministri po odgovarajućoj nadležnosti ministarstava, i Stručni nacionalni odbor, u koji se imenuju znanstvenici i stručnjaci kao pojedinci, predstavnici znanstvenih institucija, te predstavnici Ministarstava i drugih nadležnih tijela, a svi oni su definirani *Uredbom*³. Cijela struktura provođenja odredbi Strategije se nalazi na slici 1.2.



Slika 1.2 Prikaz strukture kroz koju se odvija provedba Morske strategije

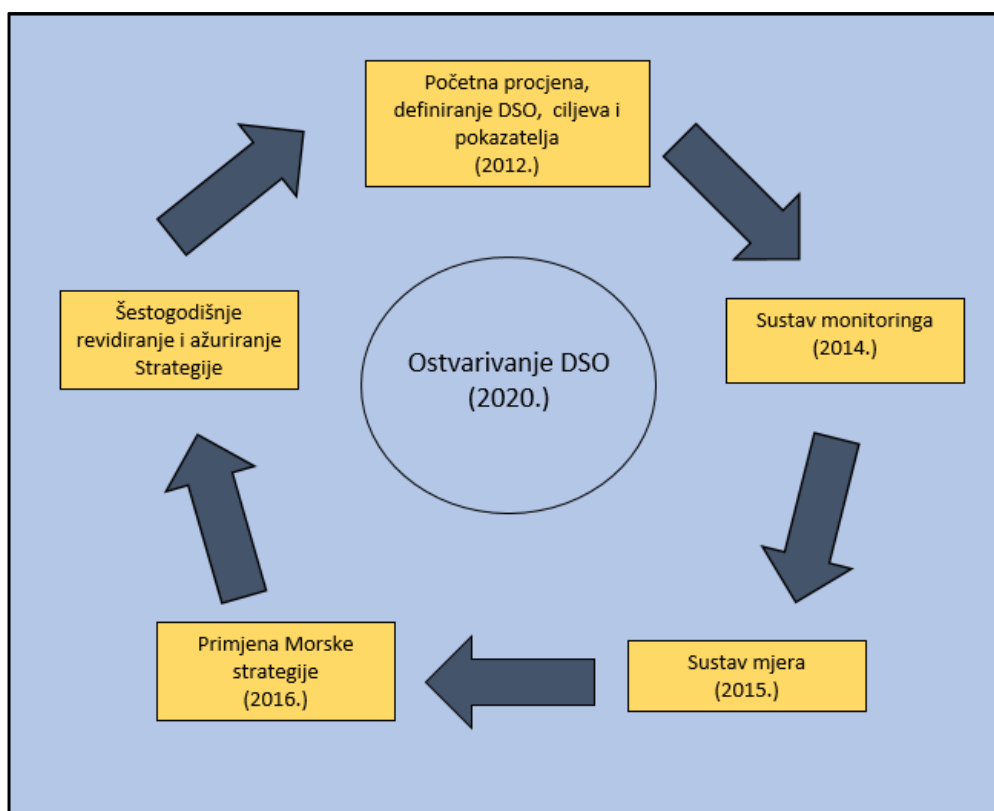
Prema ODPS-u, svaka članica EU ima odgovornost razvijanja Strategije za svoje morske vode, koja bi vodila do primjene programa mjera za postizanje DSO i koju je potrebno stalno ažurirati i revidirati svakih 6 godina.

³ Uredba o izradi i provedbi Strategije upravljanja morskim okolišem i obalnim područjem

U Morskoj strategiji moraju biti sadržani:

- početna procjena postojećeg stanja okoliša nacionalnih morskih voda te ekološki utjecaj i društveno-ekonomsku analiza ljudskog djelovanja u tim vodama;
- granične vrijednosti DSO za nacionalne morske vode;
- ciljevi i pokazatelji koje treba ispuniti na putu do ostvarivanja DSO do 2020. godine;
- sustav za kontinuirano praćenje i redovito ažuriranje podataka;
- program mjera koje služe za postizanje ili održavanje DSO do 2020. godine.

Proces izrade ove Strategije je ciklički. (slika 1.3). Započeo je 2012. i prvi krug mora završiti do 2018. godine, kada kreće drugi krug u kojemu se revidiraju svi elementi Strategije. Početna procjena dovršena je 2012., dokument kojim se određuju granične vrijednosti DSO i ciljevi 2014., sustav monitoringa 2014. i program mjera 2016. godine.



Slika 1.3 Ciklički proces izrade Morske strategije

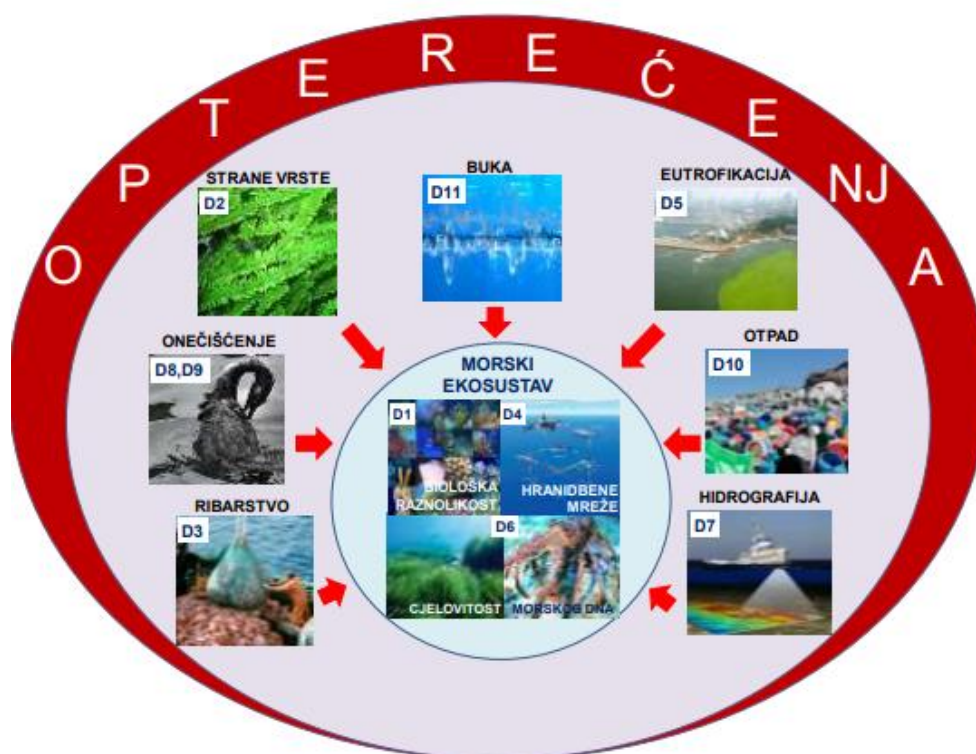
1.4 Pregled glavnih uzročnika povećanog unošenja hranjivih tvari u vode

Obalna područja imaju brojne prednosti za život ljudi, pa su shodno tome jedna od najgušće naseljenih područja, s vrlo intenzivnim iskorištavanjem. Zbog toga su obalna područja među najpopularnijim lokacijama za obavljanje brojnih gospodarskih i drugih aktivnosti: turizam, ribarstvo i marikultura, graditeljstvo, industrija, agrikultura, proizvodnja energije, itd. Nabrojane aktivnosti predstavljaju opterećenje na okolni okoliš koje, ukoliko je veće od prirodne sposobnosti samopročišćavanja morskih vodnih tijela, uzrokuje pogoršanje stanja okoliša.

Značajni problemi zaštite okoliša su pretjerana gradnja u obalnom području koja često ima lošu komunalnu opremljenost kao i prostorno planiranje u kojem prevladava urbanizam vlasničkih parcela bez prakticirane urbane komasacije. Nadalje, postoje priobalni gradovi u kojima postotak stanovništva koji je priključen na sustav javne odvodnje i dalje nije na zadovoljavajućoj razini pa se velika količina otpadnih voda od stanovništva izlijeva direktno u more, bez pročišćavanja.

Turizam je glavni pokretač aktivnosti na priobalnom području u Hrvatskoj te za određene obalne i otočne zajednice ima cijeli niz pozitivnih gospodarskih učinaka. Ali, osim pozitivnih strana, turizam sa sobom donosi i veliki pritisak na morski okoliš i obalni prostor, kroz povećanu produkciju otpadnih voda, prehrambenog otpada, povećani rizik od nepravilnog odlaganja otpada itd. (slika 1.4)

Unatoč pokušajima posljednjih desetljeća izostalo je planiranje i provođenje cjelovitog upravljanja obalnim područjem. Većina odluka o zahvatima u moru, na otocima i u obalnom kopnenom pojasu se donosi bez dovoljne stručne, znanstvene i društvene procjene, kako na lokalnoj tako i na državnoj razini. Uzrok takvog stanja je često nepostojanje sektorskih planskih podloga za izradu prostornih planova – iako većina sektora ima obavezu snimati stanje, pratiti trendove i donositi svoje razvojne planove/programe. Nadalje, neki sektori žele da se njihovi planovi provode direktno ili da se rade u sklopu postupka izrade i donošenja prostornih planova. [25]



Slika 1.4 Prikaz različitih vrsta opterećenja na morski ekosustav

1.4.1 Otpadne vode iz domaćinstava i gradska kanalizacija

Učinkovitost zaštite voda iz točkastih izvora onečišćenja ovisi o izgrađenosti sustava javne odvodnje, koji je definiran kao sustavno i organizirano sakupljanje otpadnih voda, pročišćavanje i ispuštanje u prijemnik, te obrada mulja koji nastaje u procesu pročišćavanja. Sustav javne odvodnje u Republici Hrvatskoj je nedovoljno razvijen u usporedbi s vodoopskrbnim.

Fekalne vode su glavni izvor onečišćenja za vodene ekosustave na kopnu i moru. Osim koliformnih bakterija, kanalizacijske vode obiluju hranjivim tvarima, dušikom i fosforom, koji u povećanim količinama mogu uzrokovati eutrofikaciju i time negativno utjecati na bioraznolikost. Njihovo onečišćenje može prodrijeti i do osjetljivih vodenih staništa te krških i podzemnih ekosustava.

1.4.2 Industrija

Industrija predstavlja veliki izvor opterećenja okoliša radi iskorištavanja prirodnih resursa, emisija u vodu, zrak i tlo te proizvodnje značajnih količina otpada. Kemijska i petrokemijska te prehrambena industrija ispuštaju najveće količine otpadne vode, dok drvna i prehrambena industrija imaju najveće procijenjene terete onečišćenja.

Na nacionalnoj razini, bez pročišćavanja u kanalizacijski sustav i u prijemnik ispušta se oko 30% od ukupne količine industrijskih otpadnih voda.

1.4.3 Intenzivna poljoprivreda

Poljoprivreda ovisi o uporabi mineralnih gnojiva i kemijskih sredstava za zaštitu bilja, no upravo je njihovo korištenje potencijalni uzrok mnogih negativnih učinaka na okoliš, onečišćenja tla i podzemnih voda, emisija stakleničkih plinova, štetnog utjecaja na biološku raznolikost, eutrofikacije površinskih voda i dr., a posredno negativno utječe i na zdravlje ljudi.

U usporedbi s državama članicama Europske unije, Hrvatska ima potrošnju mineralnih gnojiva koja je među najvišima po jedinici površine. Prema podacima o korištenju gnojiva i ispuštanju dušika prikupljenim za potrebe UNEP/MAP-ovog Izvješća o stanju morskog i obalnog okoliša u Sredozemnom moru [33], najintenzivnije ispuštanje dušika iz točkastih izvora prisutno je u istočnom dijelu Jadranskog mora.

1.4.4 Marikultura

Negativan utjecaj marikulture očituje se kroz otpad koji proistječe uzgojem, unosom bolesti, izmjenom genetskih obilježja uslijed bježanja uzgajanih organizama i njihovog križanja s jedinkama iz prirode, vizualnim onečišćenjem, nepoželjnim mirisima i dr. [22].

Najveći negativni utjecaj na okoliš događa se u fazi kaveznog hranjenja zbog značajnog unosa organske tvari i hranjivih tvari [4]. Dolazi do promjena sadržaja kisika i koncentracija hranjivih soli u području uzgoja i posljedično promjene u biomasi fitoplanktonske zajednice.

Dolazi do povećane sedimentacije partikularne organske tvari na morsko dno, promjena granulometrijskog sastava, redoks-potencijala i sadržaja hranjivih soli u sedimentu te promjene sastava bentičkih zajednica, osobito degradacije livada posidonije.[19]

1.4.5 Urbanizacija/Gradnja

Povećanje površine izgrađenih građevinskih područja dijelom je uzrokovalo smanjenje površine prirodnih staništa. Porast urbaniziranosti morske obale u velikom dijelu je posljedica izgradnje u obalnim naseljima ili izvan naselja (stambeni objekti u funkciji turizma, kuće za odmor, kompleksne turističke zone, proizvodne i poslovne zone, infrastrukturni objekti i sl.).

Gradnja ima značajan i ireverzibilan negativan utjecaj na biološku i krajobraznu raznolikost Jadranskog mora. Neposredno, kroz zatrpavanje organizama i promjene staništa, te posredno, kroz ispiranje nasutog materijala s obale i pojačavanje sedimentacije u širem okolnom području, čime se smanjuje prozirnost mora, zatrpavaju se silni organizmi, onemogućava proces filtriranja, disanja ili prihvaćanja za čvrstu podlogu ranih razvojnih stadija organizama.

Uz navedeno, izgradnja luka i lukobrana utječe i na hidrodinamiku u zoni mediolitorala i supralitorala, promjene u sastavu hranjivih soli te povećanje onečišćujućih tvari posredstvom protuobraštajnih zaštitnih premaza brodova [24].

1.5 Posljedice previše hranjivih tvari u morskoj vodi

Povećanje koncentracije hranjivih tvari dušika i fosfora u morskom okolišu u pravilu vodi ka porastu biomase svih članova mikrobnog hranidbenog lanca, iako svaka pojedina skupina organizama može reagirati na tu promjenu koncentracije na značajno različite načine. Dakle, povećani dotok hranjivih tvari može značajno utjecati na strukturu i funkcioniranje hranidbenog lanca, kao i na samu interakciju između pojedinih skupina organizama.

U pravilu, prva komponenta ekosustava koja reagira na povećanje opterećenja hranjivim tvarima je morska flora, i to njezini najmanji elementi-primarni proizvođači, među koje spadaju fitoplanktoni, fitobentosi i makrofiti. Razlog tome je što primarni proizvođači uz dovoljnu količinu hranjivih tvari u vodi i uz odgovarajuće uvjete, mogu vrlo brzo rasti, razmnožavati se i stvarati kolonije. Sama veličina reakcije te morske flore ovisi o vrsti, obliku i veličini vodnog tijela, količini opterećenja i načinu transporta istog te o fizikalnim, kemijskim i hidrološkim uvjetima u toj vodi, kao npr. salinitetu, prozirnosti, kvaliteti i protoku, što znatno otežava izradu pouzdanih modela reakcija jer su vrlo varijabilne.

Povećano zamućenje vode zbog veće biomase fitoplanktona dovodi do smanjenja Secchijeve dubine, tj. dubine do koje prodire svjetlost kroz vodeni stupac i smanjuje količinu svjetlosti koja može doprijeti do fitobentosa na dnu, čime im se rast ograničava, a posljedično tome dolazi do odumiranja. Višak hranjivih tvari također može pozitivno utjecati na rast makroalgi, kao što su *Ulva* i *Cladophora*.

Zajednice alga pod utjecajem stresa, prirodnih ili antropogenih promjena njihovih staništa, pokazuju snižavanje bioraznolikosti, odnosno pad različitosti vrsta. U prvoj se fazi smanjuje brojnost pojedinih vrsta, dok u drugoj fazi one potpuno nestaju, što uzrokuje i povlačenje epifitskih vrsta koje na njima obitavaju, kao i životinjskih vrsta koje se njima hrane. (slika 1.6)



Slika 1.6 Jedna od posljedica eutrofikacije – „Cvjetanje“ mora

2. METODOLOGIJA I REZULTATI

2.1. Analiza unosa opterećenja na razini akvatorija Bračkog kanala

U ovome poglavlju će se izložiti cjelokupni proces prikupljanja, razmatranja i obrade podataka potrebnih za procjenu opterećenja hranjivim tvarima koje se unose u Brački kanal iz raznih izvora te analiza opterećenja za izdvojena potencijalno ranjiva područja akvatorija, u neposrednoj blizini ušća rijeka Jadro i Žrnovnica.

Osim čitanja literature, uspostavljen je i kontakt s nekim institucijama koje bi mogle biti relevantne za dobivanje podataka vezanih uz područje proučavanja te je njihov doprinos naveden u ovome poglavlju. Jedan od izvora podataka koji je korišten je digitalna baza podataka o stanju i promjenama zemljišnog pokrova Republike Hrvatske, CORINE land cover, iz koje su uzeti podatci o veličini i namjeni različitih vrsta zemljišta, kako bi se procijenilo opterećenje uzrokovano otjecanjem sa tih zemljišta. Također je provedena identifikacija glavnih proizvođača hranjivih tvari koji su ujedno i izvori točkastih opterećenja za akvatorij Bračkog kanala.

U drugom dijelu poglavlja fokus se prebacuje na dva rubna lokaliteta akvatorija, gdje postoji opasnost od pretjeranog unosa hranjivih tvari u morski okoliš uslijed unosa opterećenja putem rijeka Jadro i Žrnovnice pri niskim protocima te se provodi statistička analiza.

2.1.1. Identifikacija izvora i prikupljanje podataka

Velik dio posla u ovome radu je zahtijevala sama potraga za informacijama i podacima koji bi mogli biti relevantni za analizu ovog problema, što kroz čitanje brojne literature [16], što kroz kontakt s nadležnim institucijama. U tablici 2.1 su izložena imena institucija iz kojih su prikupljeni podatci te o kakvoj vrsti podatka se radi:

Tablica 2.1 Popis institucija s kojima je uspostavljen kontakt i vrsta podataka koji su zaprimljeni

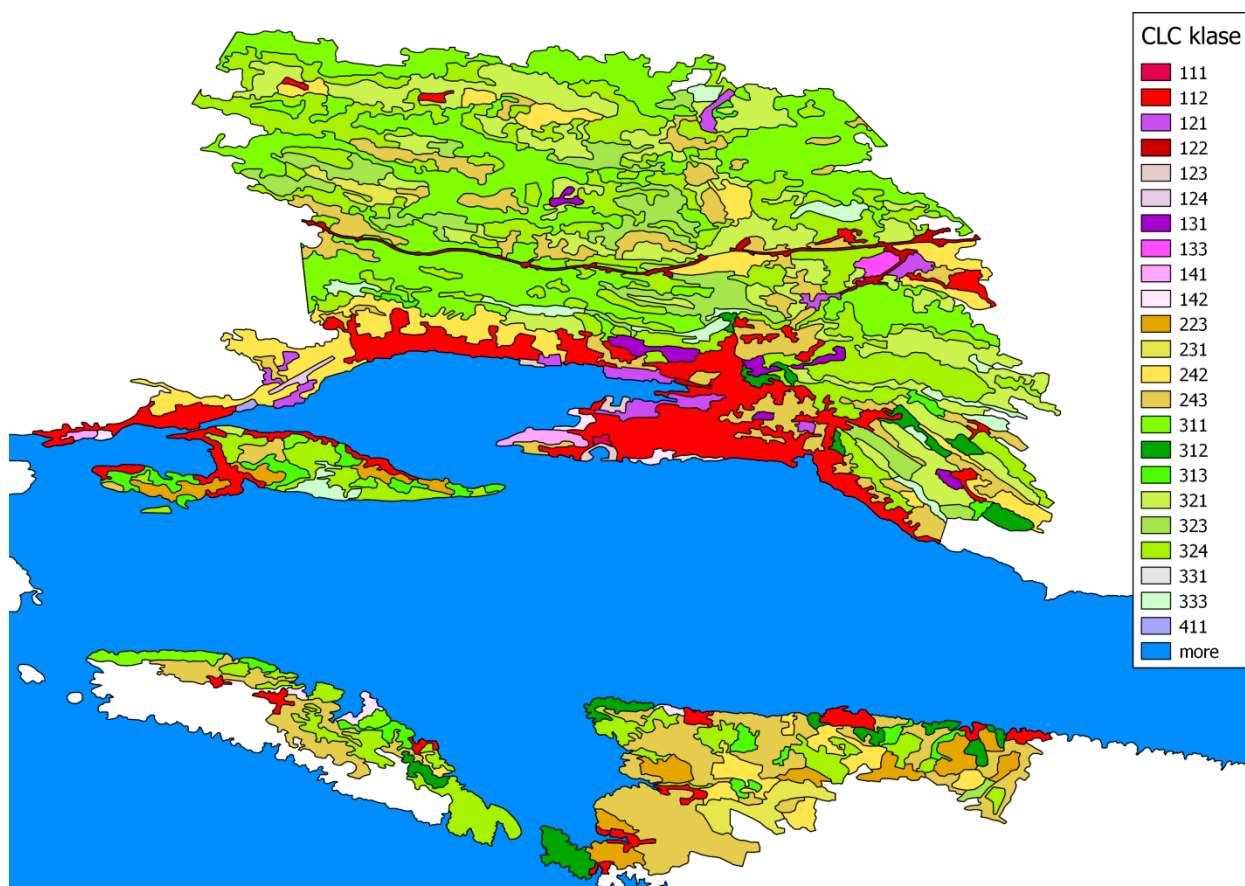
Izvor podataka	Primjer podataka
Institut za oceanografiju i ribarstvo	Dokumenti koji sadrže podatke o emisiji hranjivih tvari iz dvaju bračkih ribogojilišta, međutim oba se nalaze van promatranog područja
Institut za jadranske kulture i melioraciju krša	„Utjecaj poljoprivrede je zanemariv, premalo se kod nas uzgaja, a za ispiranje dušika se moraju poklopiti vrsta tla i poljoprivreda većeg intenziteta, dok se fosfor uglavnom veže za karbonate.“ (parafraziranje)
Eko-kaštelanski zaljev	Dostupni su im samo podatci o izgradnji primarne kanalizacijske mreže, pa su ustupljeni kontakti osoba iz Vodovoda i kanalizacije Split
Vodovod i kanalizacija Split	Dokumenti s procjenom broja kućanstava koji su spojeni na sustav javne odvodnje u 2017.
Državni zavod za statistiku	Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011. Stanovi prema načinu korištenja; Prodaja pesticida; Potrošnja mineralnih gnojiva u poljoprivredi; Stočarstvo; Voćnjaci; Struktura poljoprivrednih gospodarstava i metode poljoprivredne proizvodnje; Biljna proizvodnja
Hrvatska poljoprivredna agencija	Stočarstvo Poljoprivreda

2.1.2. Korištenje Corine land cover Hrvatska podataka

CLC Hrvatska predstavlja digitalnu bazu podataka o stanju i promjenama zemljišnog pokrova Republike Hrvatske za razdoblje 1980. – 2012. prema CORINE nomenklaturi te je na taj način osigurana konzistentnost i homogenizacija s podacima cijele Europske unije.

CLC baza podataka izrađena je prema programu za koordinaciju informacija o okolišu i prirodnim resursima pod nazivom CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) prihvaćenom od strane Europske unije i na razini Europske unije ocijenjena je kao temeljni referentni set podataka za prostorne i teritorijalne analize.

Na temelju CORINE podataka o pokrovu i namjeni zemljišta u Republici Hrvatskoj u ovom radu napravljena je procjena difuznog opterećenja od površinskog otjecanja s kopnenog područja oko Bračkog kanala kako bi se procijenili iznosi ukupnog dušika i fosfora. Slika 2.1 prikazuje obuhvaćeno područje te sve vrste pokrova s kojih se provodi površinsko otjecanje.



Slika 2.1 Područje na kojem se analizira difuzno opterećenje

stanovniku i pretpostavljenog uklanjanja onečišćenja na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda, tamo gdje takav uređaj postoji. Pretpostavljene specifične emisije otpadnih tvari po stanovniku sadržane su u tablici 2.2. U daljnjem izračunu uzimat ćemo prosječne vrijednosti za ukupni dušik i ukupni fosfor.

Tablica 2.2 Tipične vrijednosti otpadnih tvari koje prosječno čovjek (po ekvivalentnom stanovniku) proizvede u jednom danu

BPK_5	60-80 [g/stan./dan]
KPK	110-160 [g/stan./dan]
Ukupni dušik, N	11-14 [g/stan./dan]
Ukupni fosfor, P	2-4 [g/stan./dan]
Ukupne koliformne bakterije	1010-1012 [br./stan./dan]

Na temelju podataka iz popisa stanovništva 2011. [10], koji je prikazan na slici 2.3, Procjene i prirodnog kretanja stanovništva za 2017. godinu [9] i procjene dobivene od Vodovoda i kanalizacije Split za 2017. godinu (tablica 2.3), napravljena je aproksimacija udjela stanovništva koji je priključen na sustav javne odvodnje i prikazana je u tablici 2.4.

Splitsko-dalmatinska županija County of Split-Dalmatia	237 138	207 986	17 995	5 134	6 023	122 697	102 275	447	5 264	6 455
Stanovi za stalno stanovanje Dwellings for permanent residence	206 186	184 030	13 932	3 964	4 260	114 200	83 041	372	4 044	4 529
Stanovi za povremeno stanovanje Dwellings for occasional residence	30 952	23 956	4 063	1 170	1 763	8 497	19 234	75	1 220	1 926
Gradovi Towns										
Hvar	3 165	3 000	103	61	1	2 375	723	10	56	1
Stanovi za stalno stanovanje Dwellings for permanent residence	2 047	1 989	35	22	1	1 680	341	2	23	1
Stanovi za povremeno stanovanje Dwellings for occasional residence	1 118	1 011	68	39	-	695	382	8	33	-
Imotski	3 426	2 978	293	77	78	1 054	2 191	7	93	81
Stanovi za stalno stanovanje Dwellings for permanent residence	3 411	2 965	291	77	78	1 054	2 176	7	93	81
Stanovi za povremeno stanovanje Dwellings for occasional residence	15	13	2	-	-	-	15	-	-	-
Kaštela	19 455	15 357	3 310	465	323	6 672	11 961	5	475	342
Stanovi za stalno stanovanje Dwellings for permanent residence	19 031	15 116	3 181	437	297	6 576	11 691	5	446	313
Stanovi za povremeno stanovanje Dwellings for occasional residence	424	241	129	28	26	96	270	-	29	29

Slika 2.3 Broj kućanstava splitsko-dalmatinske županije priključenih na sustav javne odvodnje iz Popisa stanovništva 2011.

Tablica 2.3 Dobiveni podatci iz Vodovoda i kanalizacije Split o procijenjenom broja kućanstava koji su spojeni na sustav javne odvodnje (uz napomenu da na jednom priključku može biti više kućanstava)

2017. GODINA		
BROJ KUĆANSTAVA SPOJEN NA JAVNU ODVODNJU (PROCIJENA) I UKUPAN BROJ PRIKLJUČAKA		
GRAD - OPĆINA	BROJ	UK BROJ
SPLIT	14.902	17.453
SOLIN	3.461	3.724
KAŠTELA	3.625	4.002
TROGIR	1.805	2.193
PODSTRANA	1.060	1.371
SEGET	73	117
KLIS	43	50
DUGOPOLJE	88	145
OKRUG	245	309
UKUPNO	25.302	29.364

Tablica 2.4 Prikaz udjela stanovništva koji je priključen na sustav javne odvodnje

	Broj stanovnika (ES)	Broj stan. priključenih na sustav javne odvodnje	Ostatak
SPLIT	178.102	169.197	8.905
KAMEN	1.462	1.389	73
SRINJINE	1.232	1.170	62
STOBREČ	4.708	4.473	235
ŽRNOVNICA	2.274	2.160	114
SOLIN	23.926	20.337	3.589
KUČINE	559	475	84
MRAVINJCE	1.117	949	168
VRANJIC	1.159	985	174
KLIS	5.144	2.212	2.932
DUGOPOLJE	3.796	1.822	1.974
PODSTRANA	11.377	9.443	1.934
KAŠTELA	40.630	26.410	14.221
TROGIR	13.081	8.503	4.578
SEGET	4.677	2.011	2.666
OKRUG	3.528	1.940	1.588
BRAČ	16.014	12.811	3.203
ŠOLTA	2.134	1.024	1.110
UKUPNO		267.312	47.608

Koristeći brojke o broju stanovništva koje je priključeno na sustav javne odvodnje iz tablice 2.4 i prosjeka tipičnih vrijednosti specifičnog onečišćenja ukupnim dušikom i ukupnim fosforom iz otpadnih voda po ekvivalentnom stanovniku iz tablice 2.2 napravljen je izračun opterećenja od stalnog stanovništva kroz sustav javne odvodnje i prikazan je u tablici 2.5.

Tablica 2.5 Procijenjeno opterećenje od stanovništva na ispustima sustava javne odvodnje

	Broj stanovnika (ES)	Opterećenje ukupni N (kg/dan)	Opterećenje ukupni P (kg/dan)
UKUPNO	267.312	3.341,400	801,936

Također, potrebno je uzeti u obzir i povećani pritisak na sustav javne odvodnje u sezoni ljetnog turizma iz razloga što broj turističkih dolazaka na more raste iz godine u godinu. Podatci o broju turističkih noćenja preuzeti su sa stranica Državnog zavoda za statistiku, a procjena dodatnog opterećenja koje turizam proizvodi na sustav javne odvodnje prikazan je u tablici 2.6.

Tablica 2.6 Procijenjeno opterećenje od turizma na ispustima sustava javne odvodnje

	Broj turističkih noćenja	Broj turista (ES)	Opterećenje N (kg/dan)	Opterećenje P (kg/dan)
SPLIT-SOLIN	2,866,763	7,854	98.177	23.562
KAŠTELA-TROGIR	1,027,743	2,816	35.197	8.447
BRAČ	808,761	2,216	27.697	6.647
ŠOLTA	145,342	398	4.977	1.195
UKUPNO			166.048	39.852

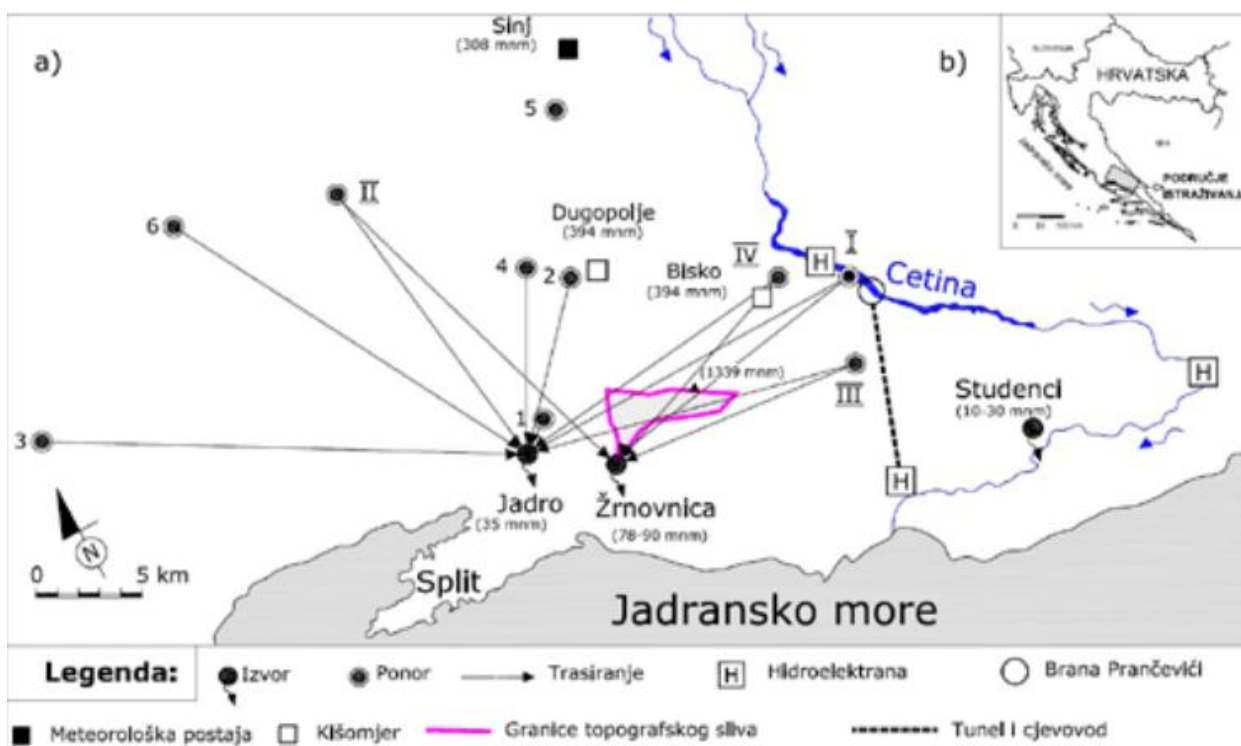
Onečišćenje iz gospodarstva prati se preko većeg broja onečišćujućih tvari koje su prisutne u otpadnim vodama pojedinih gospodarskih djelatnosti, uključujući prioritetne i druge opasne tvari. Procjena opterećenja onečišćujućim tvarima iz gospodarstva temelji se na podacima o godišnjim količinama ispuštenih otpadnih voda i srednjih vrijednosti koncentracija iz analiza otpadnih voda korisnika. Podatci su prikupljeni sa stranica E-PRTR (*European Pollutant Release and Transfer Register*) i prikazani su u tablici 2.7.

Tablica 2.7 Procijenjeno opterećenje od gospodarstva

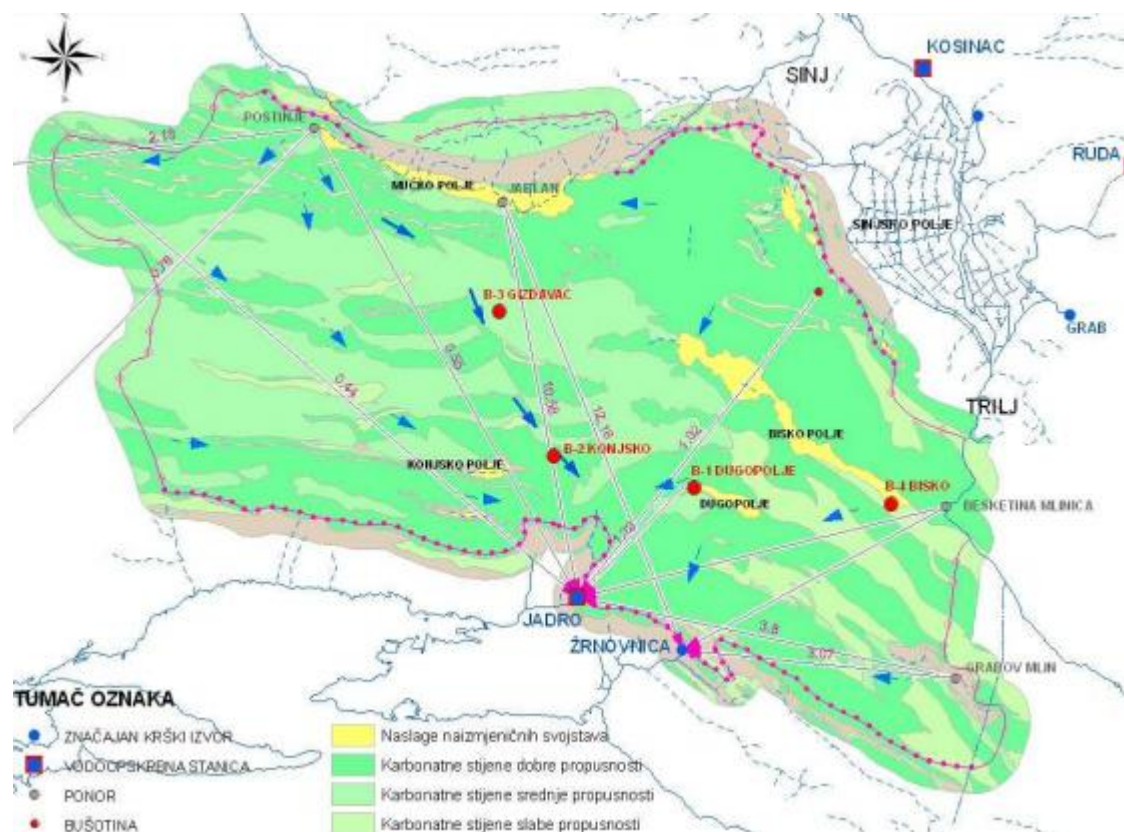
Vrsta gospodarstva	Ukupni N (kg/dan)
Proizvodnja cementa	642.46
Odlagalište	334.25
UKUPNO	976.71

2.1.4. Utjecaj unosa hranjivih tvari putem rijeka Jadro i Žrnovnica

Još jedan izvor točkastog opterećenja su rijeke Jadro i Žrnovnica, koje u Brački kanal dovode sav dušik i fosfor koji su sa područja njihovih slivova otjecanjem vode dospjeli u njihove vodotoke. Međutim, još uvijek nije jasno određena granica između slivova tih dviju rijeka te je bilo potrebno procijeniti njezin položaj. Za određivanje slivnog područja, kao i granice tih slivova korištene su slike 2.4 [2] i slike 2.5. [23]

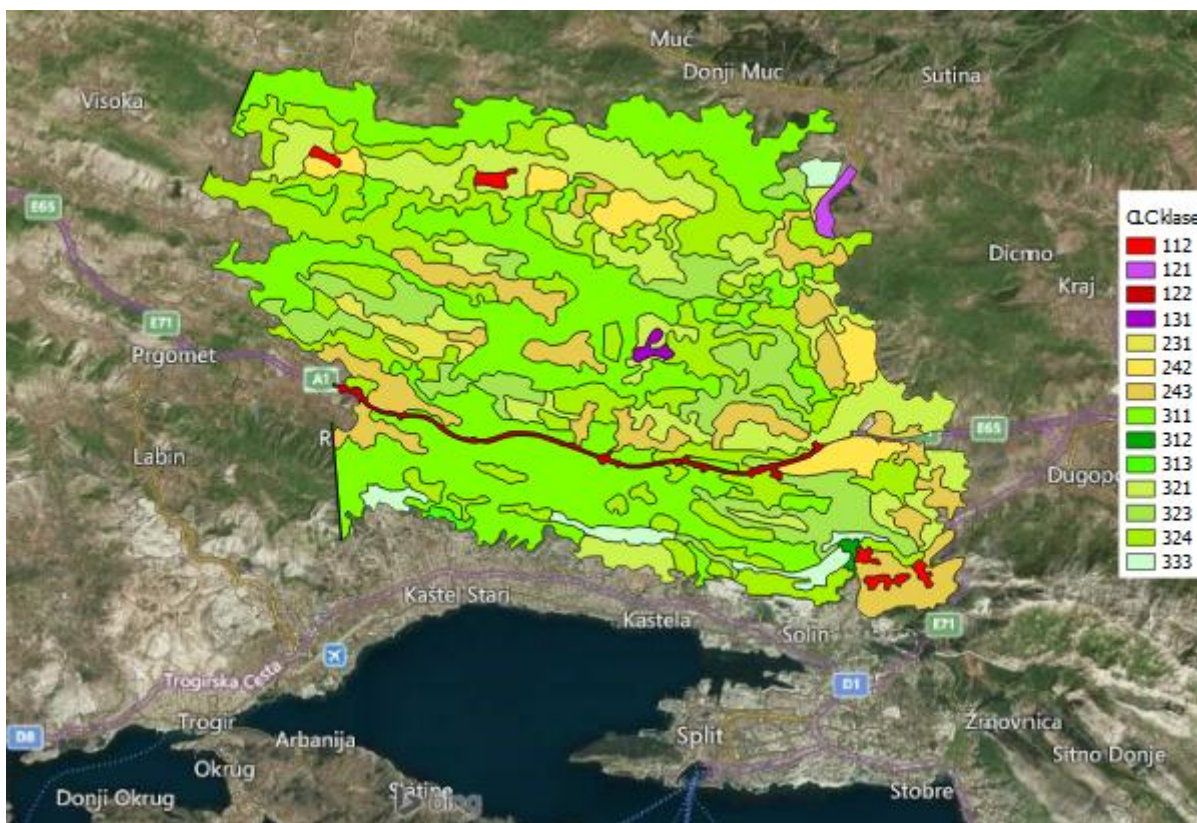


Slika 2.4 Šira situacija sliva Jadra i Žrnovnice. Na karti su ucrtani ponori (mjesto ubacivanja trasera). Rimskim brojevima (od I do IV) su označena 4 trasiranja kod kojih se obilježavač pojavio na izvorima Jadra i Žrnovnice dok su arapskim brojevima (od 1 do 6) označena mjesta ubacivanja iz kojih se traser nije pojavio na izvoru Žrnovnice nego isključivo na izvoru Jadra.

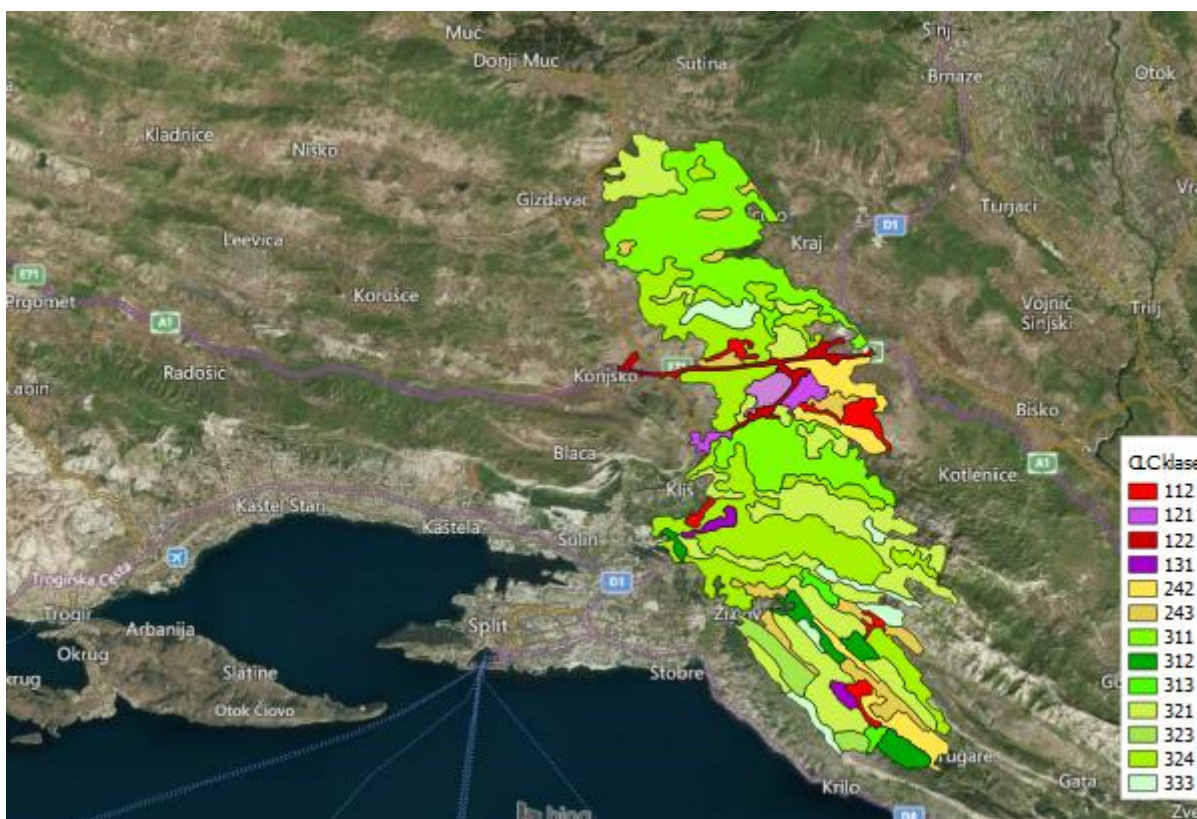


Slika 2.5 Slivno područje rijeke Žrnovnica i Jadro

Na temelju te procjene, u besplatnom računalnom programu za upravljanje geografskim informacijskim sustavom - QGIS-u, su na vektorskoj podlozi CORINE klase namjene zemljišta izdvojena područja tih slivova. Sliv rijeke Jadro je prikazan na slici 2.6, a sliv rijeke Žrnovnice na slici 2.7.



Slika 2.6 Pretpostavljeno slivno područje rijeke Jadro u QGIS-u



Slika 2.7 Pretpostavljeno slivno područje rijeke Žrnovnice u QGIS-u

Iz tih izdvojenih područja slivova u QGIS-u napravljena je procjena potencijalnog opterećenja koje nastaje otjecanjem s takvih zemljišta. Vrijednosti količina opterećenja koja otječu s obzirom na namjenu zemljišta nalaze se u tablici 2.8 [20]. Izračuni procijenjenih opterećenja nalaze se u tablici 2.9 i tablici 2.10.

Tablica 2.8 Količine zagađenja u odnosu na površinu kojom otječu padaline

CORINE No	Land cover type	Ntot kg/ha/y	Ptot kg/ha/y
111	Continuous urban fabric	5.3	0.84
112	Discontinuous urban fabric	5.3	0.84
121	Industrial and/or commercial units	5.3	0.84
122	Road and rail networks and associated land	5.3	0.84
124	Airports	5.3	0.84
141	Green urban areas	5.3	0.84
211	Non-irrigated arable land	20.0	0.34
222	Fruit trees and berry plantations	3.0	0.12
242	Complex cultivation patterns (>75% of arable land)	17.0	0.24
243	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation (<75%)	12.0	0.24
231	Pastures	3.0	0.12
321	Natural grassland	3.0	0.12
311	Broad-leaved forest	2.9	0.1
312	Coniferous forest	1.5	0.06
313	Mixed forest	2.9	0.1
322	Moors and heathland	1.5	0.06
3241	Transitional woodland/scrub on mineral land	1.5	0.06
3242	Transitional woodland/scrub on mire	2.9	0.1
4112	Open fens and transitional bogs	5.2	0.11
4121	Open lawn and pool communities	4.5	0.1
4122	Peat extraction areas	7.8	0.38
511, 512	Water courses, water bodies	4.5	

Tablica 2.9 Procjena opterećenja rijeke Jadro na temelju namjene zemljišta po CLC-u

112 Nepovezana gradska područja		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
161.808	5.3	0.84
Opterećenje (kg/god)	857.585	135.919
122 Cestovna i željeznička mreža i pripadajući objekti		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
204.559	5.3	0.84
Opterećenje (kg/god)	1,084.162	171.829
231 Pašnjaci		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
256.923	3	0.12
Opterećenje (kg/god)	770.770	30.831
242 Mozaik poljoprivrednih površina		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
903.562	17	0.24
Opterećenje (kg/god)	15,360.556	216.855
243 Pretežno poljoprivredno zemljište, sa značajnim udjelom prirodnog biljnog korova		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
2,537.820	12	0.24
Opterećenje (kg/god)	30,453.839	609.077
311 Bjelogorična šuma		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
8,395.871	2.9	0.1
Opterećenje (kg/god)	24,348.026	839.587
321 Prirodni tavnjaci		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
3,978.444	3	0.12
Opterećenje (kg/god)	11,935.331	477.413
323 Mediteranska grmolika vegetacija (sklerofilna)		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
2,513.962	1.5	0.06
Opterećenje (kg/god)	3,770.943	150.838
324 Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
5,573.521	2.9	0.1
Opterećenje (kg/god)	16,163.210	557.352
UKUPNO [kg/dan]	286.971	8.739

Tablica 2.10 Procjena opterećenja rijeke Žrnovnice na temelju namjene zemljišta po CLC-u

112 Nepovezana gradska područja		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
359.711	5.3	0.84
Opterećenje (kg/god)	1,906.470	302.158
121 Industrijski ili komercijalni objekti		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
169.071	5.3	0.84
Opterećenje (kg/god)	896.079	142.020
122 Cestovna i željeznička mreža i pripadajući objekti		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
272.373	5.3	0.84
Opterećenje (kg/god)	1,443.576	228.793
242 Mozaik poljoprivrednih površina		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
731.016	17	0.24
Opterećenje (kg/god)	12,427.271	175.444
243 Pretežno poljoprivredno zemljište, sa značajnim udjelom prirodnog biljnog korova		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
1,028.843	12	0.24
Opterećenje (kg/god)	12,346.120	246.922
311 Bjelogorična šuma		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
2,999.310	2.9	0.1
Opterećenje (kg/god)	8,697.999	299.931
312 Crnogorična šuma		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
387.463	1.5	0.06
Opterećenje (kg/god)	581.195	23.248
313 Mješovita šuma		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
116.524	2.9	0.1
Opterećenje (kg/god)	337.921	11.652
321 Prirodni tavnjaci		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
3,022.901	3	0.12
Opterećenje (kg/god)	9,068.704	362.748
323 Mediteranska grmolika vegetacija (sklerofilna)		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
309.539	1.5	0.06
Opterećenje (kg/god)	464.309	18.572
324 Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
3,353.429	2.9	0.1
Opterećenje (kg/god)	9,724.943	335.343
UKUPNO [kg/dan]	150.937	4.665

Također, potrebno je uzeti u obzir i difuzno opterećenje od dijela stanovništva koji nije spojen na sustav javne odvodnje. To opterećenje se slijeva u podzemne tokove voda i tako dopijeva u slivove rijeka Jadro i Žrnovnica. Na temelju podataka iz popisa stanovništva 2011. [10], koji je prikazan na slici 2.3, Procjene i prirodnog kretanja stanovništva za 2017. godinu [9], napravljena je aproksimacija opterećenja koje je proizvedeno od udjela stanovništva koji nije priključen na sustav javne odvodnje i prikazana je u tablici 2.11. Za specifično opterećenje ukupnim dušikom je uzeta vrijednost 3.10 kg/dan, a za ukupni fosfor 0.43 kg/dan. [27]

Tablica 2.11 Procjena difuzno opterećenja od stanovništva koje nije priključeno na sustav javne odvodnje

	BROJ STAN.	BR. STAN. KOJI NISU PRIKLJUČENI NA KANALIZACIJU	Opterećenje ukupni N (kg/dan)	Opterećenje ukupni P (kg/dan)
JADRO				
SOLIN	23,926	3,589	11.126	1.543
LEČEVICA	437	315	0.975	0.135
MUĆ	3,669	2,275	7.052	0.978
DUGOPOLJE	3,796	1,974	6.119	0.849
JADRO UKUPNO	31,828	8,152	25.272	3.505
ŽRNOVNICA				
KLIS	5,144	2,932	9.089	1.261
DICMO	2,890	1,590	4.927	0.683
ŽRNOVNICA UKUPNO	71,690	20,826	14.017	1.944

U tablici 2.12 nalaze se vrijednosti ukupnog difuznog opterećenja na rijeke od hranjivih tvari koje u njih dopijevaju otjecanjem sa područja njihovih slivova, a rezultat je zbroj ukupnih vrijednosti iz tablica 2.9, 2.10 i 2.11.

Tablica 2.12 Procjena ukupnog točkastog opterećenja od rijeka Jadro i Žrnovnica

RIJEKA	UKUPNO OPTEREĆENJE	
	N_{tot} (kg/dan)	P_{tot} (kg/dan)
Jadro	388.874	33.196
Žrnovnica	207.457	18.230
UKUPNO	596.331	51.426

Procjena onečišćenja iz raspršenih izvora složen je postupak, zbog toga što se ne mogu u potpunosti opisati svi procesi u slivu i točno utvrditi što iz kojeg raspršenog izvora dopijeva u vodni okoliš. Procjena opterećenja iz raspršenih izvora sagledavanjem opterećenja u vodotoku pristup je koji se često koristi u praksi. Procjena se obavlja koristeći bilance onečišćujućih tvari u površinskim vodama na temelju rezultata monitoringa kakvoće voda. Za svaku računsku dionicu vodotoka, određenu položajem mjernih postaja na kojima se prati kakvoća voda, i za svaku onečišćujuću tvar, uspoređuje se promjena tereta (masenog pronosa onečišćenja) na dionici i poznati unos iz kontroliranih (točkastih) izvora na neposrednom priljevnom području dionice. Kao poznato onečišćenje uzima se i pozadinsko onečišćenje, koje je procijenjeno iz referentnih koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari. Razlika tereta pripisuje se raspršenim izvorima onečišćenja. Ukoliko se želi izvršiti raspored tako dobivenog tereta po skupinama onečišćivača, to se vrši procjenom njihovog udjela u ukupnoj emisiji onečišćenja na neposrednom priljevnom području (ili dionici vodotoka).

Drugi način procjene opterećenja iz raspršenih izvora izračun je njihovih ukupnih emisija u vode. Metodologije takvih procjena su opisane kroz brojnu stručnu literaturu. Nedavno objavljen, za praksu vrlo koristan izvor odgovarajućih metoda svakako je projekt Emisije u vode iz raspršenih izvora prema Europskom registru ispuštanja i prijenosa onečišćivača E-PRTR [7], naručen od strane Europske komisije. U okviru projekta prikupljeni su podatci o emisijama u vodi s vezom supstanca-izvor, te razvijene metode procjene i kvantificiranja emisija pristupom koji prati putove onečišćenja za sve izvore raspršenog onečišćenja. [32]

Procjena o difuznom opterećenju uslijed otjecanja je napravljena na temelju dostupnih podataka o veličini i položaju slivnog područja rijeka Žrnovnica i Jadro (slike 2.4 i 2.5) te koristeći digitalni prikaz pokrova zemljišta Republike Hrvatske za 2012. godinu (Corine land cover). Procjena se nalazi u tablici 2.13.

Tablica 2.13 Procjena difuznog opterećenja područja oko Bračkog kanala na temelju namjene zemljišta po CLC-u

112 Nepovezana gradska područja		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
7,847.694	5.300	0.840
Opterećenje (kg/god)	41,592.777	6,592.063
121 Industrijski ili komercijalni objekti		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
951.075	5.300	0.840
Opterećenje (kg/god)	5,040.699	798.903
123 Lučke površine		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
133.845	5.300	0.840
Opterećenje (kg/god)	709.378	112.430
141 Zelene gadske površine		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
231.411	5.300	0.840
Opterećenje (kg/god)	1,226.477	194.385
142 Športsko rekreacijske površine		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
321.358	5.300	0.840
Opterećenje (kg/god)	1,703.195	269.940
223 Maslinici		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
1,582.307	3.000	0.120
Opterećenje (kg/god)	4,746.922	189.877
231 Pašnjaci		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
532.018	3.000	0.120
Opterećenje (kg/god)	1,596.055	63.842
242 Mozaik poljoprivrednih površina		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
2,963.252	17.000	0.240
Opterećenje (kg/god)	50,375.277	711.180
243 Pretežno poljoprivredno zemljište, sa značajnim udjelom prirodnog biljnog korova		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
5,535.730	12.000	0.240
Opterećenje (kg/god)	66,428.758	1,328.575

311 Bjelogorična šuma		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
417.204	2.900	0.100
Opterećenje (kg/god)	1,209.891	41.720
312 Crnogorična šuma		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
922.825	1.500	0.060
Opterećenje (kg/god)	1,384.237	55.369
313 Mješovita šuma		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
1,051.742	2.900	0.100
Opterećenje (kg/god)	3,050.053	105.174
324 Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)		
Površina (ha)	N (kg/ha/god)	P (kg/ha/god)
3,516.464	2.900	0.100
Opterećenje (kg/god)	10,197.746	351.646
UKUPNO	189,261.465	10,815.106

U tablici 2.14 se nalazi ukupno difuzno opterećenje iz tablice 2.13 pretvoreno u jedinicu kg/dan.

Tablica 2.14 Procjena difuznog opterećenja od otjecanja sa zemljišta u Brački kanal

CORINE DIFUZNO OPTEREĆENJE	
N_{tot} (kg/dan)	P_{tot} (kg/dan)
518.523	29.630

U tablici 2.4 su bili izloženi podatci o ukupnom broju stanovnika i procjeni broja stanovnika koji su priključeni na sustav javne odvodnje. Na temelju razlike između tih dviju skupina dobivena je procjena broja stanovnika (stupac 'Ostatak' u tablici 2.4) koji nisu priključeni na sustav javne odvodnje te njihova otpadne vode kao takve ulaze u Brački kanal kao difuzno opterećenje. U tablici 2.15 je napravljen izračun tog opterećenja.

Tablica 2.15 Procjena difuznog opterećenja od stanovništva koje nije priključeno na sustav javne odvodnje

	DIFUZNO OPT. OD STANOVNIŠTVA	
Broj stanovnika (ES)	N_{tot} (kg/dan)	P_{tot} (kg/dan)
46,197	577.463	138.591

U tablici 2.16 su izložene sve primijećene vrste opterećenja hranjivim tvarima koje dopijevaju u Brački kanal na promatranom području.

Tablica 2.16 Prikaz svih opterećenja na Brački kanal za promatrano područje

TOČKASTO OPT.	N_{tot} (kg/dan)	P_{tot} (kg/dan)
Rijeke	596.331	51.426
Stanovništvo	2794.525	670.686
Turizam	166.048	39.852
Gospodarstva	976.610	0
UKUPNO TOČKASTO	4,533.514	761.964
DIFUZNO OPT.	N_{tot} (kg/dan)	P_{tot} (kg/dan)
Corine pokrov	518.523	29.63
Stanovništvo	577.463	138.591
UKUPNO DIFUZNO	1,095.986	168.221
UKUPNO OPT.	5,629.500	930.185

Iako Brački kanal, kao morska cjelina velikog volumena i dostatne sposobnosti samopročišćavanja zahvaljujući dovoljno jakim morskim strujama i otvorenom reljefu, nije ugrožen od ovog reda veličine opterećenja dušikom i fosforom, isto ne može biti rečeno i za sva lokalizirana područja. Na pojedinim lokacijama na kojima se točkasti izvori opterećenja spajaju na more, kao što su ušća rijeka Jadro i Žrnovnica, premala veličina protoka u usporedbi s veličinom opterećenja te reljefna zatvorenost bi kao posljedicu mogle imati značajniji utjecaj na morski okoliš. Stoga će fokus u idućem poglavlju biti usmjeren na analizu utjecaja koje točkasto opterećenje, koje preko ušća tih rijeka dopijeva u more, ima na koncentraciju hranjivih tvari u okolnom moru.

2.2. Utjecaj opterećenja unesenog u more putem ušća rijeka na promatranom području (Jadro, Žrnovnica)

Sada će se posebno analizirati utjecaj rijeka Jadro i Žrnovnice kao značajnih točkastih izvora hranjivih tvari na području predmetnog akvatorija. Za potrebe proračuna korištena je aplikacija CPoRT (*Coastal Pollution Risk Tool*), koja je razvijena u sklopu projekta „Procjena rizika od zagađenja uzrokovanim rijekama i ispuštima u priobalju“ za lakšu i bržu, no manje preciznu procjenu potencijalne ugroženosti akvatorija isključivo u neposrednoj blizini ušća ili ispusta, tj. u području *bliske zone*.

2.2.1. Kratak opis metodologije koju primjenjuje aplikacija CPoRT

Prvi korak u definiciji generalnog problema procjene rizika od zagađenja u bilo kojem mediju, a u ovom slučaju u površinskim tokovima koji ulaze u more i/ili jezero, jest upravo određivanje vjerojatnosti prekoračenja dozvoljenih graničnih vrijednosti za pojedine tvari kako je to već propisano Europskom direktivom o vodama [6]. Da bi se odredila ta opisana vjerojatnost prekoračenja dozvoljenih vrijednosti, potrebno je poznavati funkciju gustoće vjerojatnosti za koncentraciju promatrane tvari u određenim točkama.

Funkcija gustoće vjerojatnosti, kraće PDF prema eng. *probability density function* neke varijable, opisuje relativnu vjerojatnost da promatrana varijabla, u ovom slučaju koncentracija, uzme neku vrijednost. Koncept PDF-ova i CDF-ova prema eng. *cumulative density function* osnova je za definiciju bilo kojeg rizika u praksi.

Svaka pojava koja se promatra kao nekakav generator rizika/opasnosti, se opisuje vjerojatnošću pojave istog, a rizik je potom definiran kao vjerojatnost prekoračenja odabranog graničnog stanja, koje je po analiziranim indikatorima odabrano od strane korisnika koji analizira situaciju.

Stoga, metodologija se zasniva na izvodu statističkih momenata iz osnovne advektivno-difuzne jednadžbe (1) za nestlačiv i stacionaran pronos konzervativne tvari u svrhu određivanja funkcije gustoće vjerojatnosti. U turbulentnim tokovima skalarna koncentracija je slučajna varijabla i zato je korišten statistički pristup prateći analognu metodologiju primijenjenu kod pronosa u atmosferi [30] i podzemlju [1].

$$\frac{\partial c(\mathbf{x}, t)}{\partial t} + \nabla \cdot [v(\mathbf{x}, t)c(\mathbf{x}, t)] = e_m \nabla^2 c(\mathbf{x}, t) \quad (1)$$

gdje je $c(\mathbf{x}, t)$ skalarna koncentracija u jedinici mase po volumenu, $v(\mathbf{x}, t)$ je brzina toka na lokaciji vektora položaja \mathbf{x} u trenutku t , a e_m je koeficijent molekularne difuzije.

U turbulentnim tokovima, skalarna koncentracija je slučajna varijabla zahvaljujući fluktuacijama polja brzina, te takva promjenjivost onemogućava korištenje determinističkih teorija u procjeni ponašanja polja koncentracije neke tvari. Kako bi se adekvatno opisalo smanjenje koncentracije zagađenja uslijed procesa transporta od samog ušća koristi se funkcija gustoće vjerojatnosti (PDF) $p(c; \mathbf{x}, t)$, koja je opisana izrazom:

$$p(c; \mathbf{x}, t)dc = \text{prob}\{c \leq c(\mathbf{x}, t) \leq c + dc\} \quad (2)$$

Adekvatna aproksimacija pdf-a (2) se može dati putem izraza za centralne statističke momente nižeg reda koji su definirani:

$$\mu_n(\mathbf{x}, t) = \int_0^{\infty} (c - m_1)^n p(c; \mathbf{x}, t)dc \quad (3)$$

gdje su $m_n(\mathbf{x}, t)$ apsolutni ili standardni statistički momenti gustoće vjerojatnosti:

$$m_n(\mathbf{x}, t) = \int_0^{\infty} c^n p(c; \mathbf{x}, t)dc . \quad (4)$$

Jednom kada je definiran proizvoljan broj n apsolutnih momenata koncentracije zagađenja, PDF se može rekonstruirati iz njih putem inverzije momenata [31] gdje se zapravo vidi direktna primjena ovako dobivenih momenata. Traženi PDF se može dobiti na osnovi principa maksimalne entropije [15] ili prilagodbom teorijske distribucije putem preklapanja momenata prema jednadžbi (4). Potonji postupak je primijenjen korištenjem beta-distribucije [3,28] te je implementiran u računalnu aplikaciju CPoRT [14].

Budući da se miješanje u ušćima javlja kao posljedica jednog ili kombinacije tri različita izvora: strujanje uzrokovano vjetrom, morskim mijenama ili dotokom iz rijeke, sama srednja brzina toka može imati i nešto drugačiji oblik. Jedan od primjera definicije brzine ako se uzme u obzir utjecaj mijena je prema [18] sljedeći izraz:

$$v(\mathbf{x}, t) = v_0 + v_{\max T} \sin \sigma(t - \delta) \quad (5)$$

gdje su v_0 brzina rijeke i $v_{\max T}$ maksimalna vrijednost brzine morske mijene, t je vrijeme koje se promatra od trenutka injektiranja zagađenja i δ je fazni pomak koji predstavlja vremenski odmak između trenutka injektiranja zagađenja od početnog vremena kada počinje ciklus morske mijene.

U procesu razvoja metodologije, a u sklopu CPoRT projekta, promatranjem stanja na terenu i adekvatnim mjerenjima utvrđen je adekvatan obrazac ponašanja srednjeg polja brzine koji se zato predlaže u sljedećem obliku:

$$U(x) = U_0 e^{-v \cdot x} \quad (6)$$

gdje je U_0 srednja brzina toka u poprečnom presjeku na samom početku ušća rijeke, a novo uvedeni parametar $v [m^{-1}]$ predstavlja koeficijent atenuacije, tj. smanjenja brzine nizvodno od ušća, a u sebi sadrži utjecaj svih postojećih mehanizama (valovi, vjetar, mijene).

No kako se može prema različitim istraživanjima koja su provedena [8,29,35] zaključiti da je najgori scenarij za transport zagađenja, upravo onaj u kojem se još brzina rijeke smanjuje, u sklopu razvijene metodologije dat je izraz za jednadžbu statističkih momenata u slučaju brzine zadane izrazom (6):

$$\frac{\partial m_{n+1}}{\partial x} + \frac{k\alpha}{U_0 e^{-v \cdot x}} \left(m_{n+1} - 2m_n \bar{c}_t + c_t^{-2} m_{n-1} \right) = C_0^n \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \quad (7)$$

gdje je C_0 koncentracija u izvoru zagađenja (ušće), $\bar{c}(x) = m_1(x)$ je srednja koncentracija zagađivača, $k = n(n+1)$, a c_t predstavlja pozadinsku koncentraciju medija. Parametar λ definira skalu koncentracijskog gradijenta, $\nabla_c = (c - c_t) / \lambda$.

Kada se riješila obična diferencijalna jednadžba prvog reda u obliku (7) dobio se rekurzivni izraz za bilo koji n-ti centralni moment [13], ovaj put s uključenim promjenjivim profilom brzine:

$$m_{n+1}(\mathbf{x}) = C_o^n \bar{c}(\mathbf{x}) + \frac{k\alpha}{U_0} e^{-\frac{k\alpha}{U_0 v} (e^{vx} - 1)} \int_0^x \left(2m_n(\eta) \bar{c}_t - m_{n-1}(\eta) \bar{c}_t^2 - C_o^n \bar{c}(\eta) \right) e^{\left[\frac{k\alpha}{U_0 v} (e^{v\eta} - 1) + v\eta \right]} d\eta \quad (8)$$

Kako bi se gore navedeni izrazi mogli koristiti potrebno je zadati funkciju srednje vrijednosti koncentracije, te je kao i u nizu prijašnjih istraživanja te u samoj aplikaciji CPoRT [14] korištena jednodimenzionalna Gaussova distribucija:

$$\bar{c}(y, x) = \frac{M}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

gdje je prostorna varijanca σ zadana s:

$$\sigma^2 = 2 \cdot e_t \cdot t + \sigma_0^2, \quad x = U \cdot t, \quad (10)$$

$e_t [m^2 s^{-1}]$ predstavlja konstantni koeficijent rasta prostorne varijance što je ekvivalent koeficijentu turbulentne difuzije (u primjerima u nastavku uzeta je vrijednosti od $10^{-2} [m^2 s^{-1}]$), a σ_0^2 je početna prostorna varijanca na samom ušću.

Na osnovu dobivenih apsolutnih momenata dalje se mogu odrediti parametri teorijskih distribucija te izračunati pripadajuće funkcije gustoće vjerojatnosti i kumulativne funkcije vjerojatnosti. U aplikaciji CPoRT korištena je beta distribucija za izračun PDF-ova, te su rezultati analize distribucije koncentracije u ušćima rijeke Jadro i Žrnovnica u nastavku dobiveni primjenom iznad opisane metodologije.

2.2.2. Izračun statističkih parametara koncentracije hranjivih tvari za stanje zadnje mjerenih protoka iz 2017. godine

U nastavku slijede proračuni statističkih momenata koncentracije hranjivih tvari za područja bliska ušćima rijeka Jadro i Žrnovnica, koristeći aplikaciju CPoRT, za koje su nam potrebni određeni ulazni parametri:

- Brzina toka, tj. srednja brzina toka na izvoru, je utvrđena mjerenjem te iznosi 0.4 m/s za Jadro i 0.3 m/s za Žrnovnicu;
- Koeficijent smanjenja brzine je određen mjerenjem i iznosi 0.001 m^{-1} za Jadro i 0.002 m^{-1} za Žrnovnicu;
- Koncentraciju na izvoru izračunava aplikacija, na osnovu podataka o masenom toku tvari, protoku vode i širini ušća;
- Maseni tok tvari [kg/dan] određuju veličine ukupnog opterećenja hranjivim tvarima koje rijeke Jadro i Žrnovnica unose u Brački kanal preko svojih ušća, a koje su izračunate u potpoglavlju 2.1.4. i nalaze se u tablici 2.12;
- Protoci rijeka su preuzeti sa službene stranice Državnog hidrometeorološkog zavoda, DHMZ - Sektor za hidrologiju. Za rijeku Jadro su korišteni podatci s mjerne stanice Majdan, a za Žrnovnicu iz mjerne postaje Laboratorij. Odabrani su minimalni protoci u ljetnim mjesecima 2017. godine;
- Širine ušća su procijenjene na osnovu kartografskih prikaza i izvora [23] te iznose 43 m za Jadro i 35 m za Žrnovnicu;
- Koeficijent turbulentne difuzije je procijenjen prema literaturi na $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ za Jadro i $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ za Žrnovnicu;
- Koeficijent molekularne difuzije je unaprijed zadan s $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, što je uobičajena vrijednost za površinske vode;
- Dozvoljene koncentracije prema uputama Europske Okvirne Direktive o vodama[6], koje iznose 1 mg/l za ukupni dušik i 0.1 g/l za ukupni fosfor.

JADRO

U tablici 2.17 nalaze se svi parametri koji su potrebni za proračun statističkih parametara onečišćenja u aplikaciji CPoRT za ušće rijeke Jadro, dok je na slici 2.8 prikazan unos tih parametara u aplikaciju.

Tablica 2.17 Ulazni podatci za proračun koncentracije na ušću rijeke Jadro u CPoRT-u za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Brzina toka [m/s]	0.4
Koef. Smanjenja brzine [1/m]	0.001
Maseni tok tvari N [kg/dan]	388.874
Izračunata koncentracija N [mg/l]	5.8298
Maseni tok tvari P [kg/dan]	33.196
Izračunata koncentracija P [mg/l]	0.49766
Protok vode [m ³ /s]	1.848
Koef. turbulentne difuzije [m ² /s]	1e-1
Koef. molekularne difuzije [m ² /s]	1e-9
Širina ušća [m]	43

Majdan (09.08.2017.)

Parametri

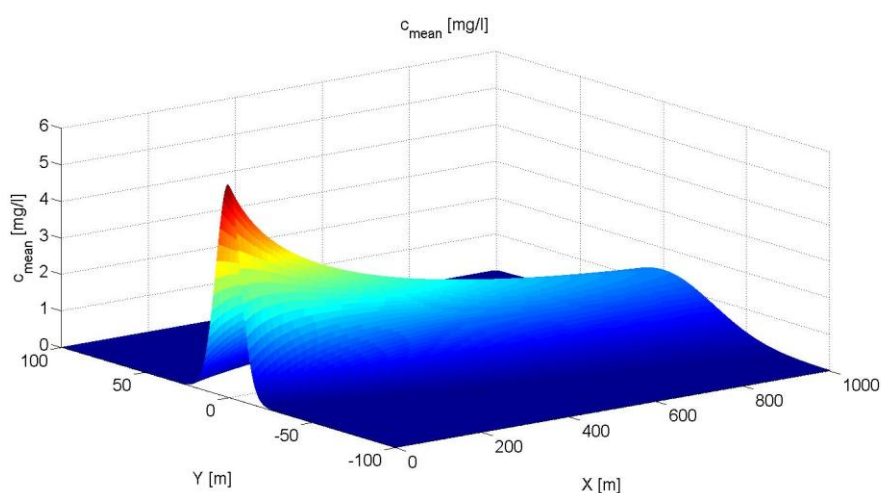
Brzina toka (U) [m/s]	0.4
Koef. smanjenja brzine [1/m]	0.001 <input type="button" value="Izraču..."/>
Koncentracija na izvoru [mg/l]	5.8298 <input type="button" value="Izraču..."/>
Koef. turbulentne difuzije [m ² /s]	0.1
Koef. molekularne difuzije [m ² /s]	1e-09
Širina izvora [m]	43

Slika 2.8 Zadavanje ulaznih parametara u aplikaciji CPoRT

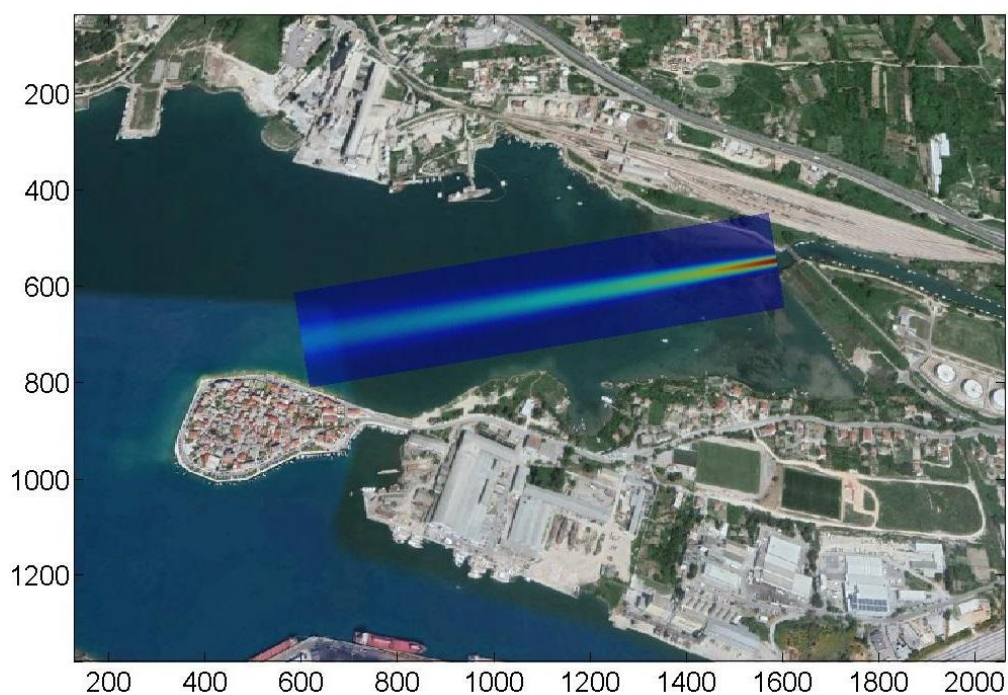
Ukupni dušik

Na slici 2.9 nalaze se grafički prikazi apsolutnog momenta tj. srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika opisane Gaussovom jednodimenzionalnom distribucijom: u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Jadra. Na izvoru onečišćenja, tj. ušću rijeke Jadro, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost skoro 6 puta veću od dopuštene i udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 1,500 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog dušika od 1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 220 metara.

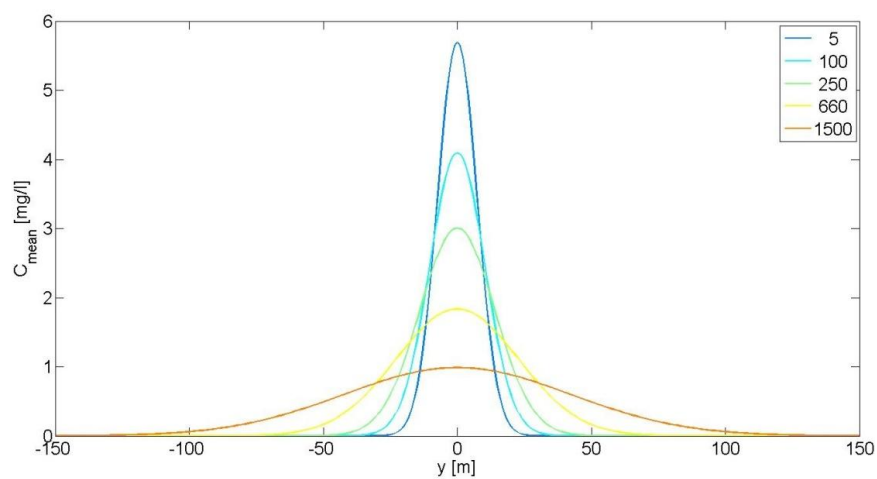
a)



b)



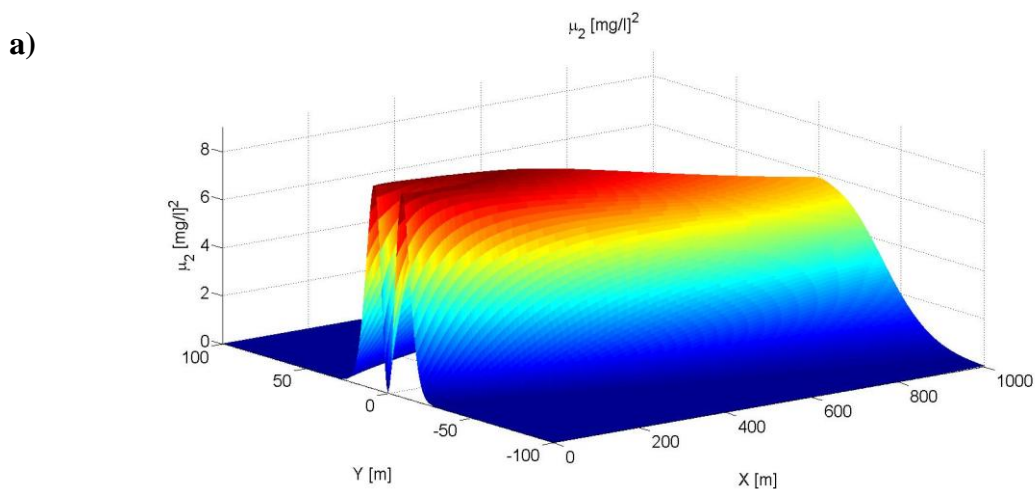
c)



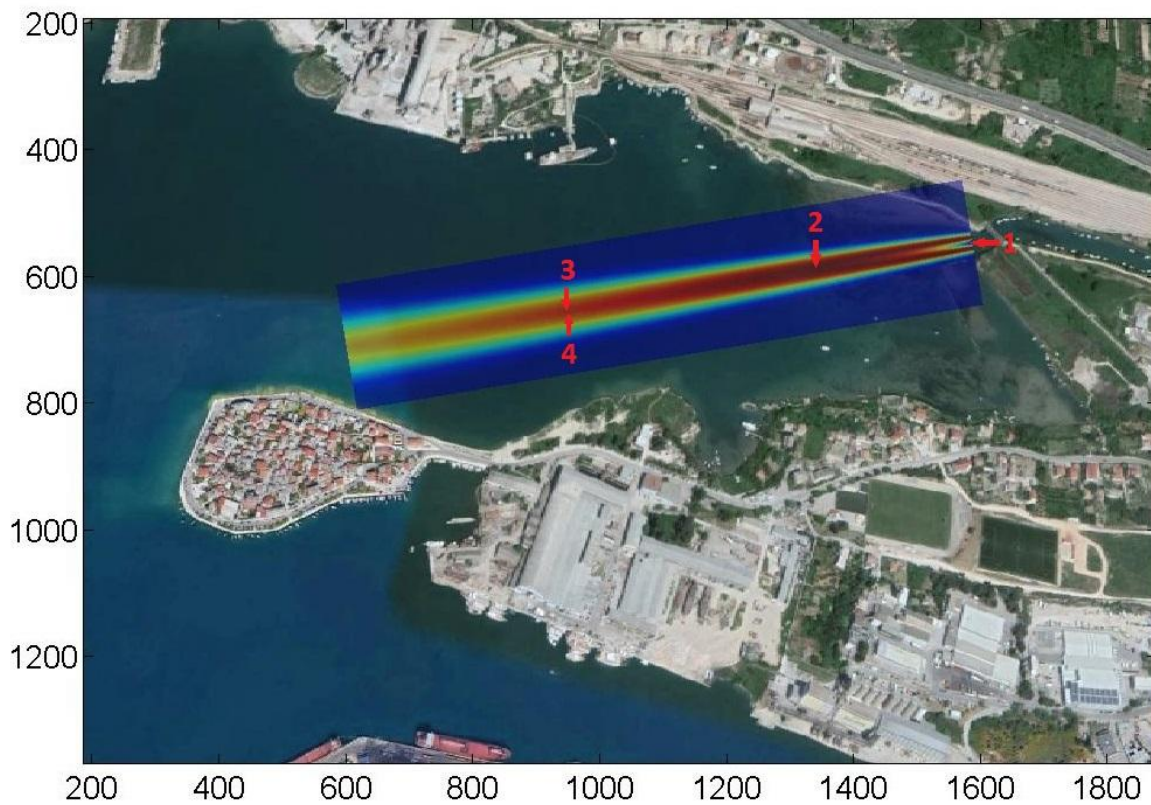
Slika 2.9 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika na ušću Jadrana: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Na slici 2.10 nalaze se grafički prikazi drugog centralnog momenta tj. varijance koncentracije ukupnog dušika: u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća rijeke Jadro. Varijanca koncentracije predstavlja mjeru raspršenja vrijednosti koncentracije od njezine srednje vrijednosti koncentracije. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima relativno nisku vrijednost u iznosu od 1, koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 8.5 [mg/l]^2 te naglo pada do nule, u rasponu od 25 metara. Također je vidljivo da udaljavanjem od ušća po centralnoj osi tečenja, veličina varijance se smanjuje, a njezin raspon se povećava.

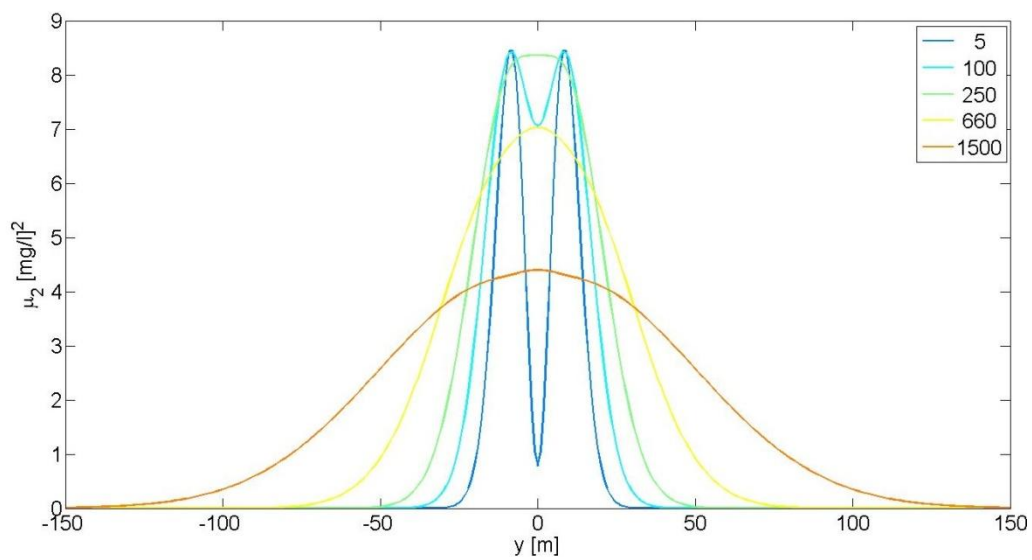
Iz slike 2.10 je također vidljivo da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Jadra. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.



b)



c)

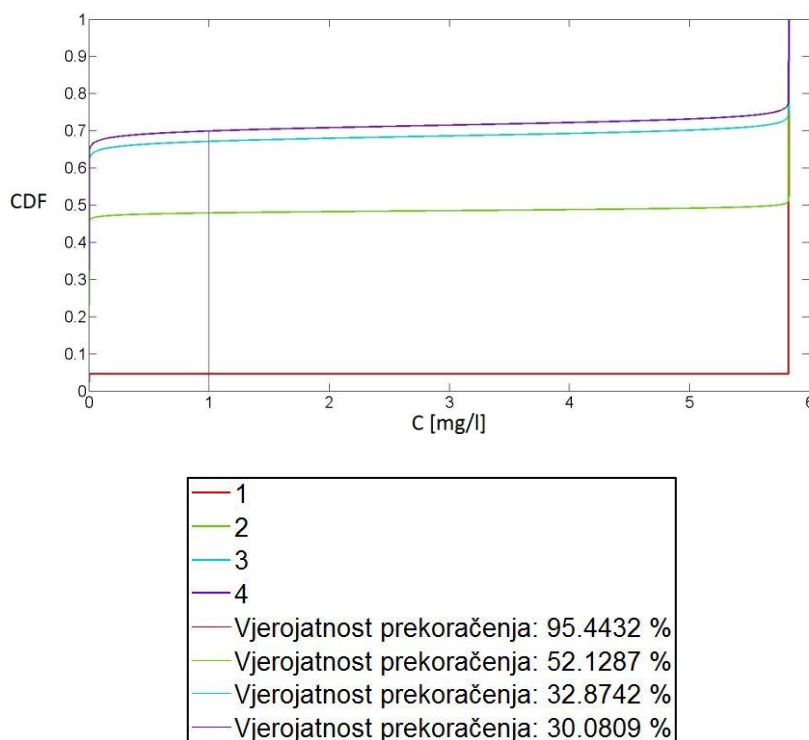


Slika 2.10 Prikaz varijance koncentracije ukupnog dušika na ušću Jadra: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Na slici 2.11 prikazane su funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog dušika za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Jadrana. Prve tri nalaze se na centralnoj osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od centralne osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.10 b). CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja.

Krivulje kumulativne distribucije koncentracije prikazuju vjerojatnost da koncentracija ukupnog dušika u nekoj točki bude manja ili jednaka odabranoj vrijednosti. U ovom slučaju ta odabrana vrijednost je dozvoljena količina ukupnog dušika, koja iznosi 1 mg/l. Vjerojatnost prekoračenja koncentracije označava vjerojatnost da koncentracija u nekoj točki bude veća od dozvoljene vrijednosti, a dobiva se oduzimanjem vrijednosti CDF-a od 1, odnosno izrazom: vjerojatnosti prekoračenja = 1 - CDF.

Za točku 1, koja je 5 metara udaljena od ušća, vjerojatnost prekoračenja iznosi 95.4%, za točku 2 iznosi 52.1%, za točku 3 iznosi 32.9% te za točku 4 ona iznosi 30.1%.

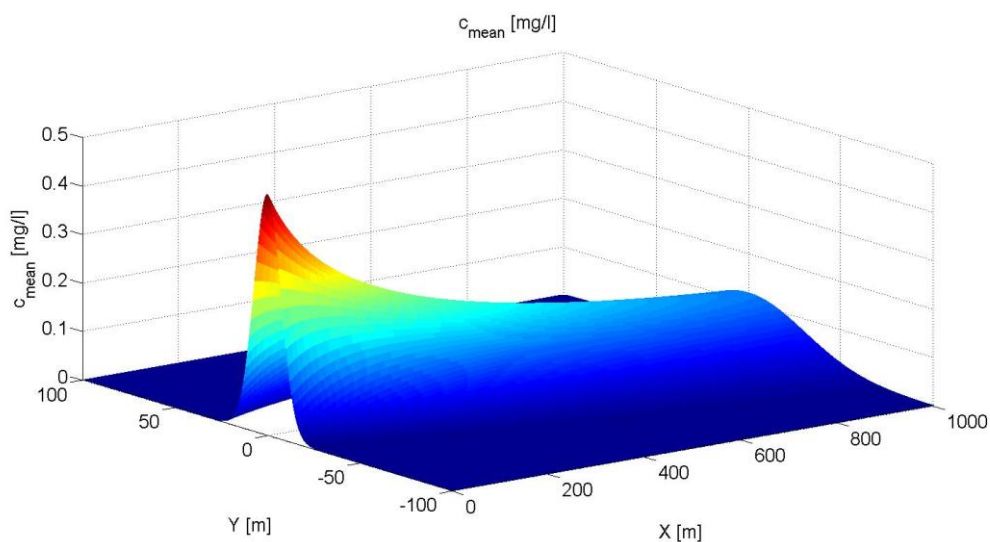


Slika 2.11 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog dušika s granicom prekoračenja zadanom na 1 mg/l za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Jadrana za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

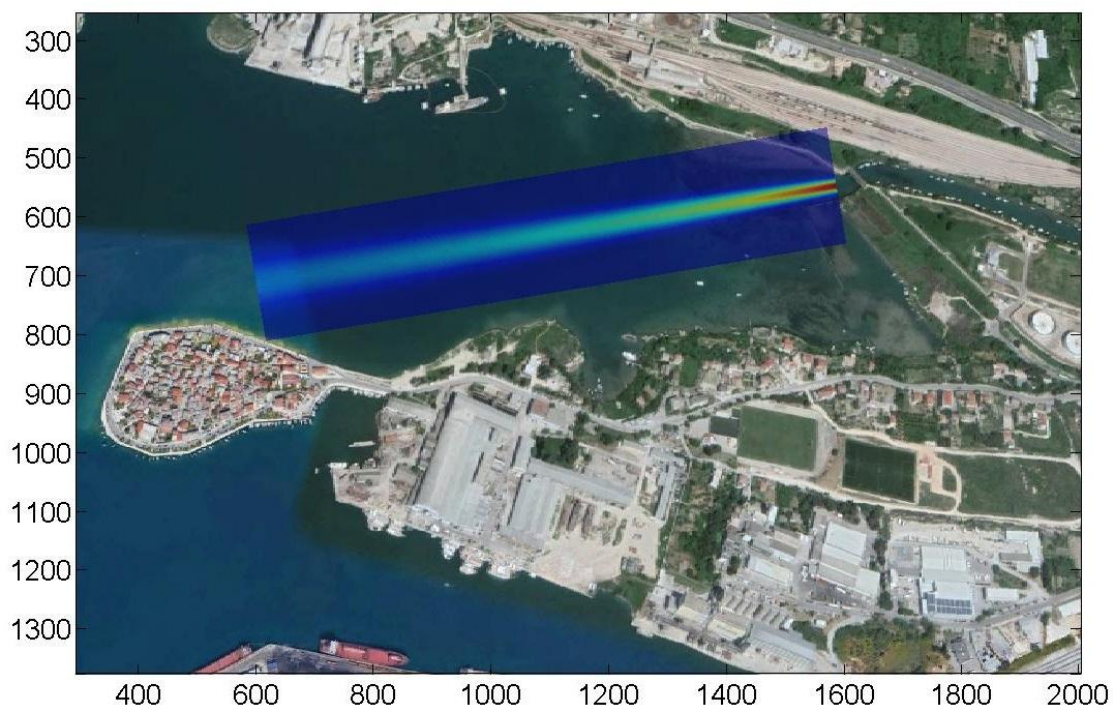
Ukupni fosfor

Na slici 2.12 nalaze se grafički prikazi apsolutnog momenta tj. srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora opisane Gaussovom jednodimenzionalnom distribucijom: u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Jadra. Na izvoru onečišćenja, ušću Jadra, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost skoro 5 puta veću od dopuštene i udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 1,300 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog fosfora od 0.1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 200 metara.

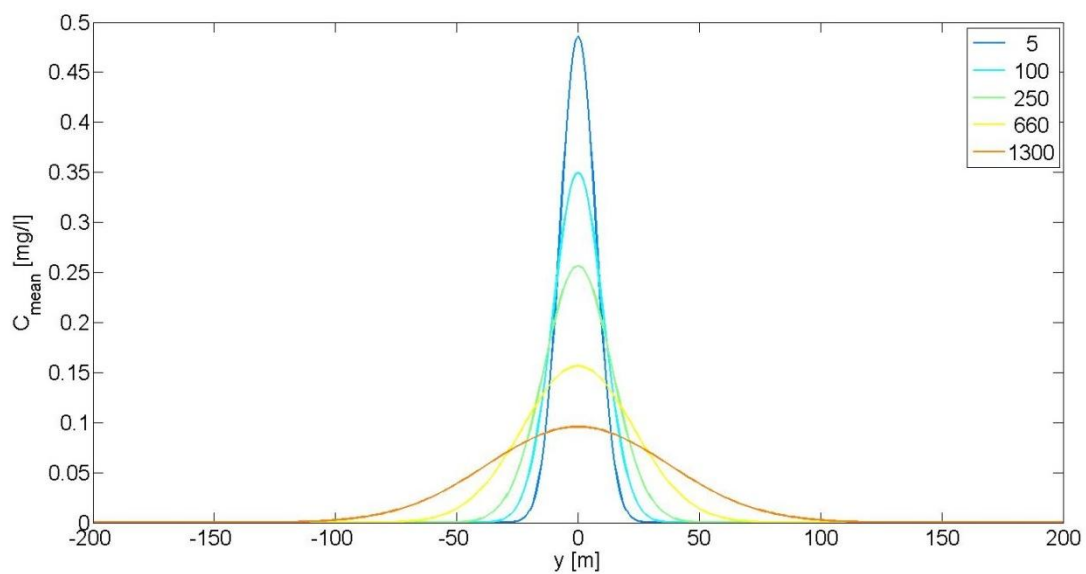
a)



b)



c)

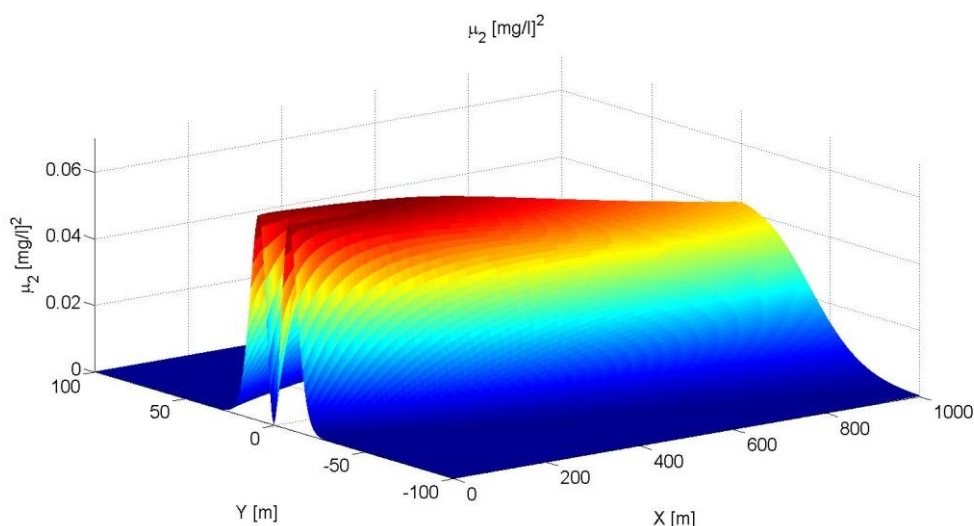


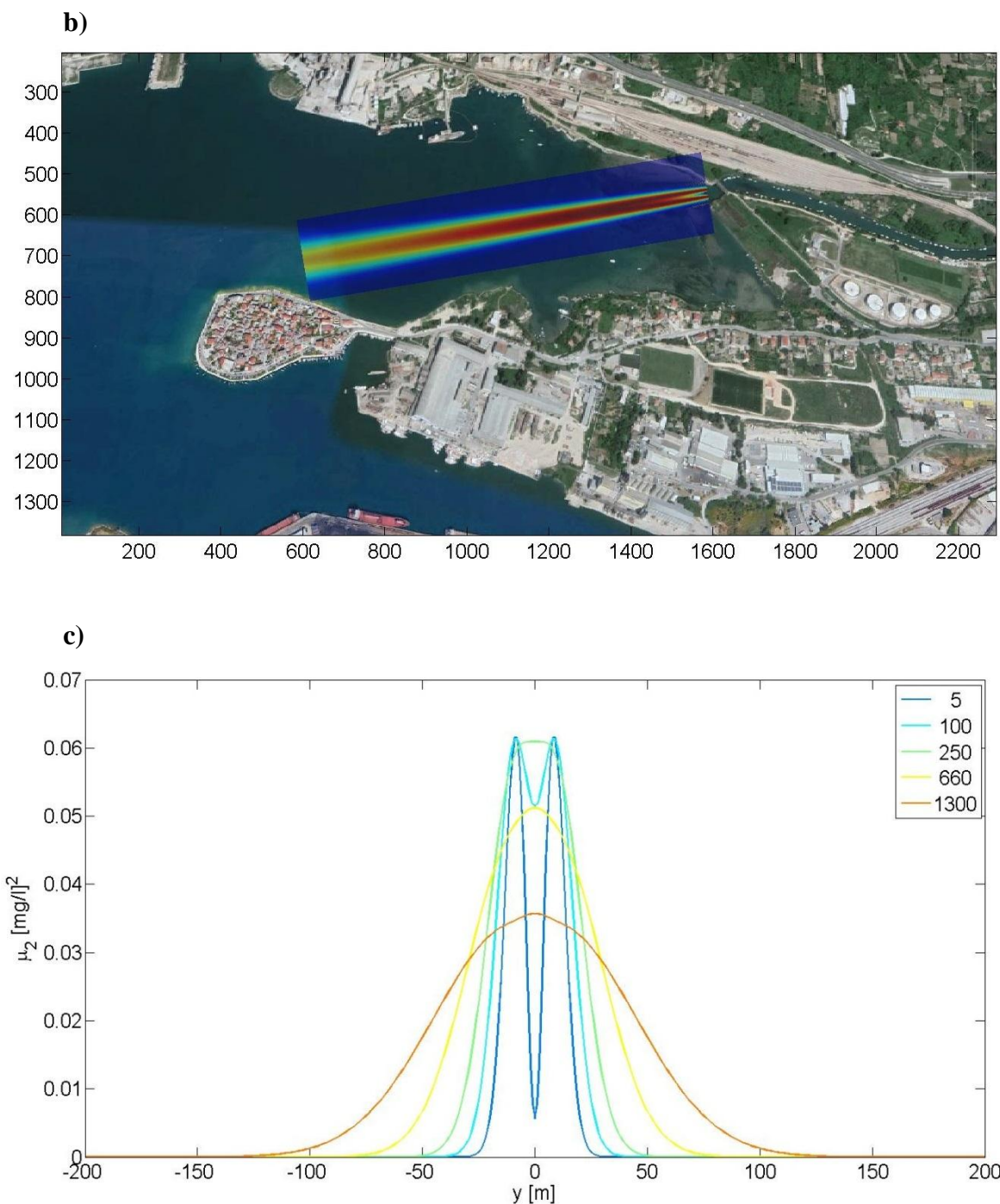
Slika 2.12 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora na ušću Jadra: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Na slici 2.13 nalaze se grafički prikazi drugog centralnog momenta tj. varijance koncentracije ukupnog fosfora: u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Jadra. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima nisku vrijednost u iznosu od 0.01 [mg/l]^2 , koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 0.06 te naglo pada do nule, u rasponu od 25 metara.

Iz slike 2.13 je također vidljivo da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Jadra. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.

a)

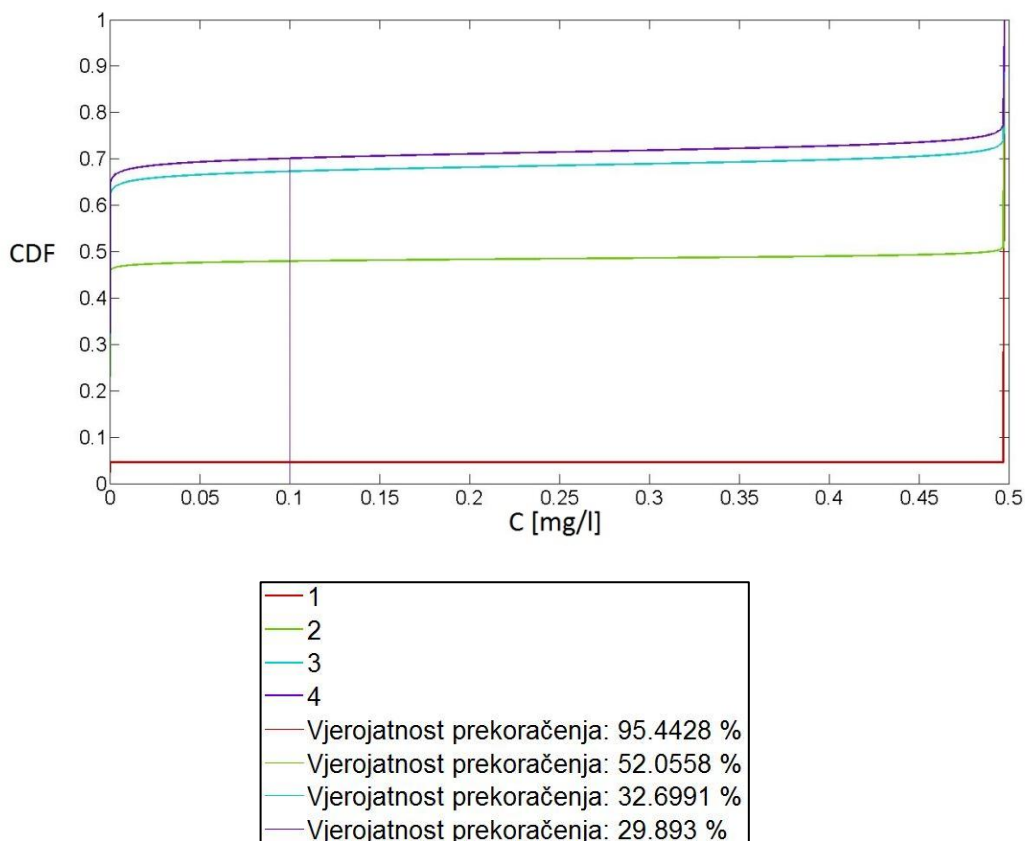




Slika 2.13 Prikaz varijance koncentracije ukupnog fosfora na ušću Jadra: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Na slici 2.14 prikazane su funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog fosfora za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća. Prve tri nalaze se na osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od osi tečenja. CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.10 b). Krivulje kumulativne distribucije koncentracije prikazuju vjerojatnost da koncentracija ukupnog fosfora u nekoj točki bude manja ili jednaka odabranoj vrijednosti. U ovom slučaju ta odabrana vrijednost je dozvoljena količina ukupnog fosfora, koja iznosi 0.1 mg/l. Vjerojatnost prekoračenja koncentracije označava vjerojatnost da koncentracija u nekoj točki bude veća od dozvoljene vrijednosti, a dobiva se oduzimanjem CDF od 1, donosno izrazom: Vjerojatnost prekoračenja = 1 - CDF.

Za točku 1, koja je 5 metara udaljena od ušća. vjerojatnost prekoračenja iznosi 95.4%, za točku 2 iznosi 52.1%, za točku 3 iznosi 32.7% te za točku 4 ona iznosi 29.9%.



Slika 2.14 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog fosfora s granicom prekoračenja zadanom na 0.1 mg/l za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Jadrana za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

ŽRNOVNICA**Ulazni parametri:**

U tablici 2.18 nalaze se svi parametri koji su potrebni za proračun statističkih parametara onečišćenja u aplikaciji CPoRT za ušće rijeke Žrnovnice.

Tablica 2.18 Ulazni podatci za proračun koncentracije na ušću rijeke Žrnovnica u CPoRT-u za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Brzina toka [m/s]	0.3
Koef. Smanjenja brzine [1/m]	0.002
Maseni tok tvari N [kg/dan]	207.457
Izračunata koncentracija N [mg/l]	21.5261
Maseni tok tvari P [kg/dan]	18.23
Izračunata koncentracija P [mg/l]	1.8916
Protok vode [m ³ /s]	0.267
Koef. turbulentne difuzije [m ² /s]	1e-2
Koef. molekularne difuzije [m ² /s]	1e-9
Širina ušća [m]	35

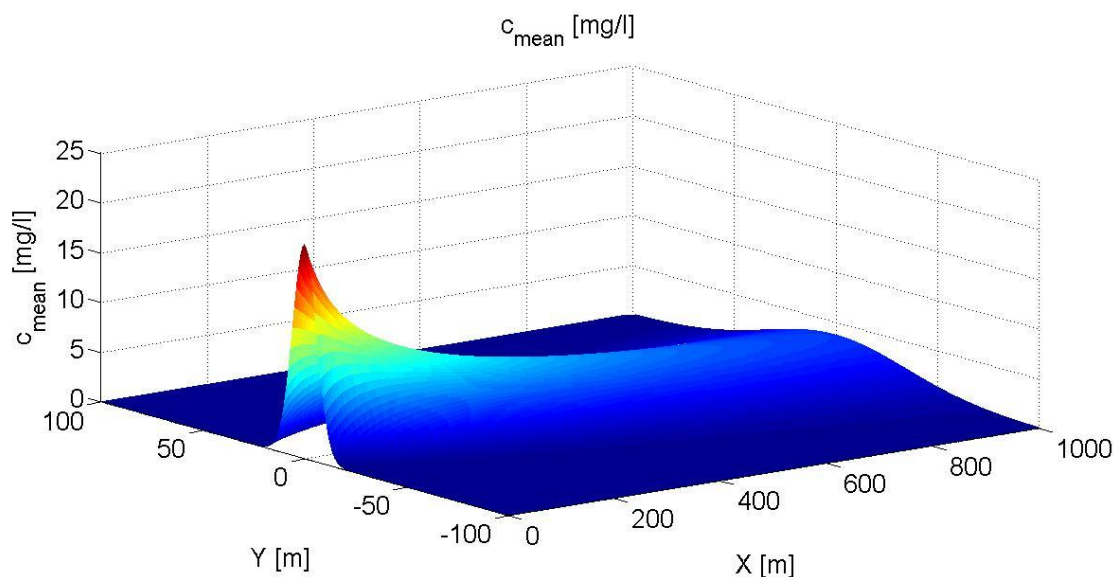
Laboratorij (09.08.2017.)

Ukupni dušik

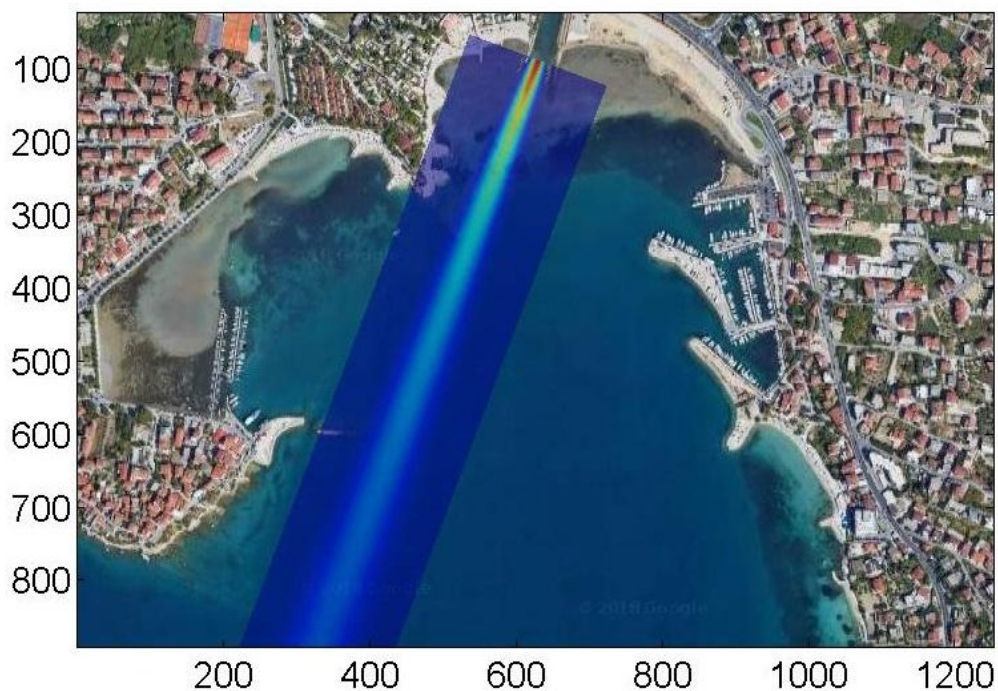
Na slici 2.15 nalaze se grafički prikazi srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika: u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Žrnovnice. Na izvoru onečišćenja, ušću rijeke Žrnovnice, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost više nego 21 puta veću od dopuštene te udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 3.100 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog dušika od 1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 800 metara. , no veća je vjerojatnost da u stvarnosti, uslijed djelovanja morskih struja i valova koji ovdje nisu uzeti u obzir, srednja vrijednost koncentracije na puno manjoj udaljenosti postiže dopuštenu vrijednost, jer ta djelovanja osim ubrzanja razrjeđivanja povećavaju i njeno širenje.

Uspoređujući sliku 2.15 sa slikom 2.9 može se primijetiti da iako je maseni tok ukupnog dušika iz rijeke Žrnovnice skoro 2 puta manji od onog iz rijeke Jadro, zbog vrlo niskog protoka Žrnovnice, rezultirajuća koncentracija na ušću Žrnovnice je preko 2 puta veća. Također, vidljiv je i sporiji pad koncentracije ukupnog dušika pri jednakim udaljenostima od izvora onečišćenja, što je posljedica manjeg koeficijenta turbulentne difuzije za ušće Žrnovnice.

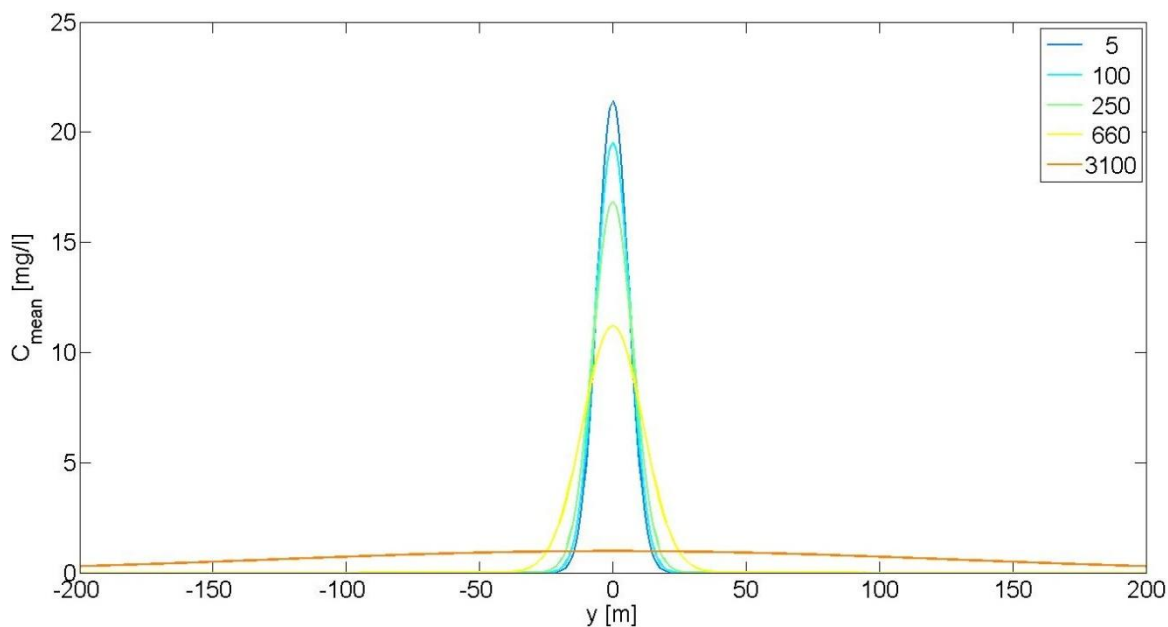
a)



b)



c)

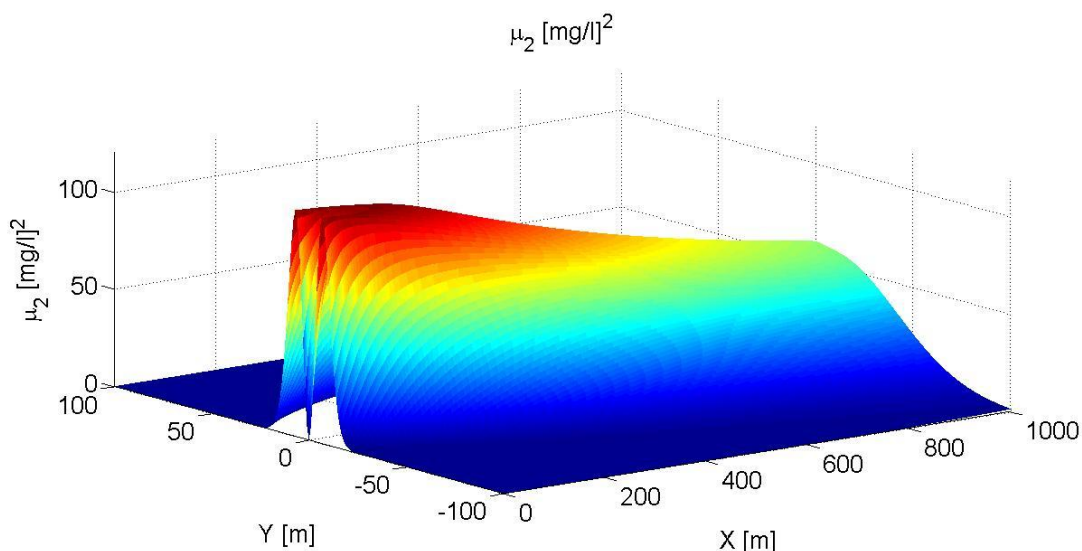


Slika 2.15 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

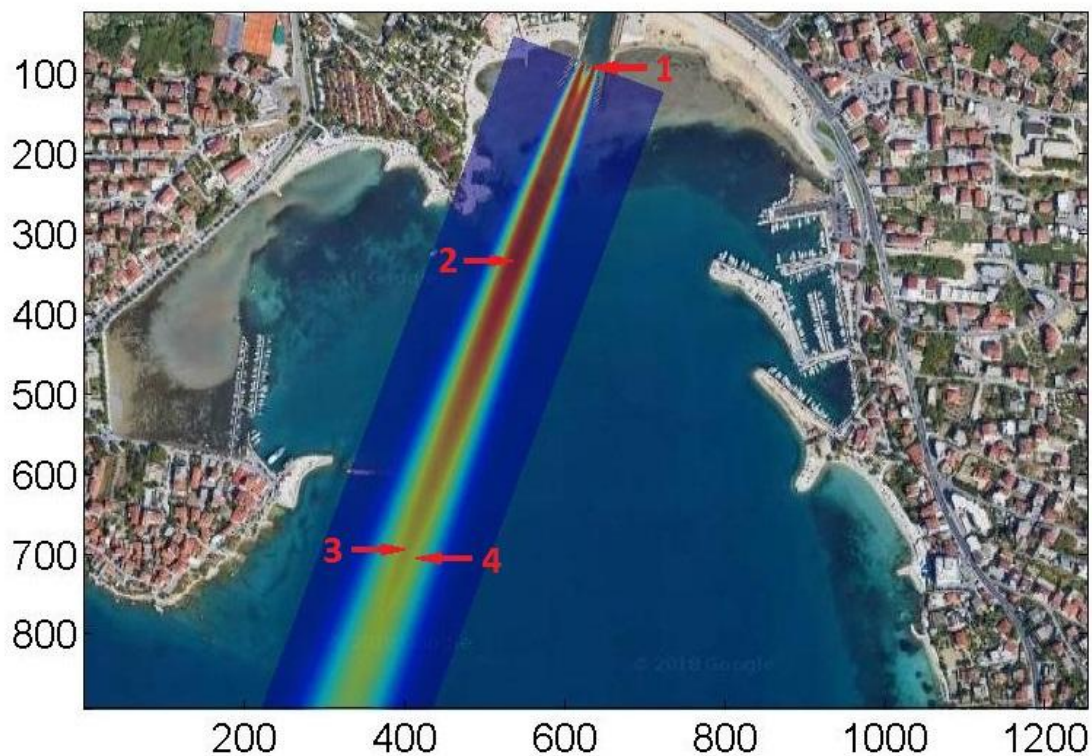
Na slici 2.16 nalaze se grafički prikazi drugog centralnog momenta tj. varijance koncentracije ukupnog dušika: u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća rijeke Jadro. Varijanca koncentracije predstavlja mjeru raspršenja vrijednosti koncentracije od njezine srednje vrijednosti koncentracije. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima vrijednost nula, koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 115 [mg/l]^2 te naglo pada do nule, u rasponu od 20 metara. Također je vidljivo da udaljavanjem od ušća po osi tečenja, veličina varijance se smanjuje, a njezin raspon se povećava. Iz slike 2.16 također je vidljivo da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Žrnovnice. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.

Nadalje, usporedbom ove slike sa slikom 2.10, može se primijetiti da se u slučaju Žrnovnice transformacija bimodalnog oblika u uniformni odvija puno brže, zahvaljujući puno manjem koeficijentu turbulentne difuzije te manjoj širini ušća.

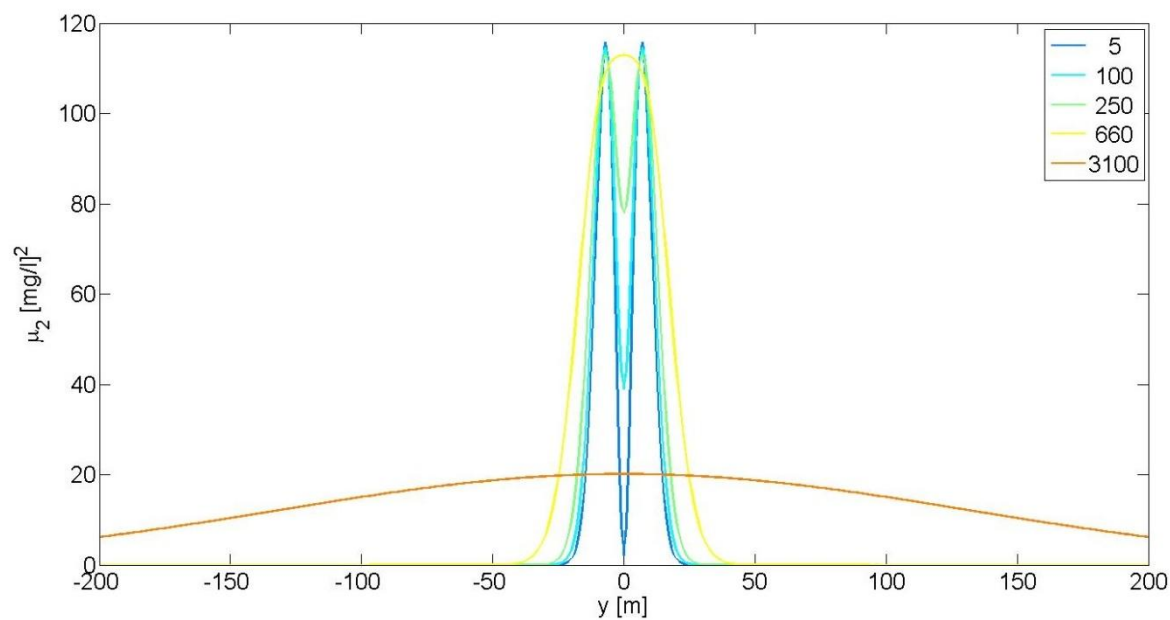
a)



b)



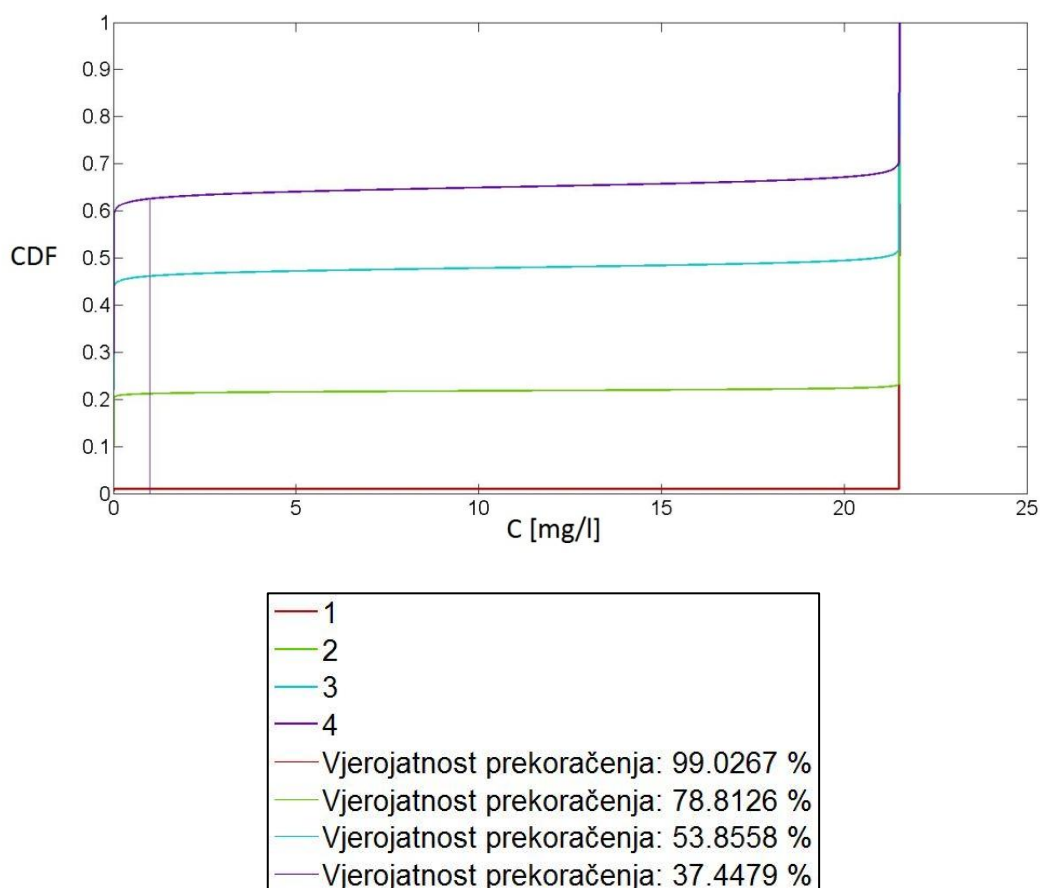
c)



Slika 2.16 Prikaz varijance koncentracije ukupnog dušika na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Na slici 2.17 prikazane su funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog dušika za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća rijeke Žrnovnice. Prve tri nalaze se na osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.16 b). CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja.

Za točku 1 vjerojatnost prekoračenja iznosi 99.0%, za točku 2 iznosi 78.8%, za točku 3 iznosi 53.9%, a za točku 4 ona iznosi 37.4%. U usporedbi s vjerojatnostima na ušću Jadra sa slike 2.11, vidljivo je da usprkos manjoj količini opterećenja koje se slijeva u ušće rijeke Žrnovnice, uslijed njezinog manjeg protoka, njezine vjerojatnosti prekoračenja su znatno veće od onih na ušću Jadra.



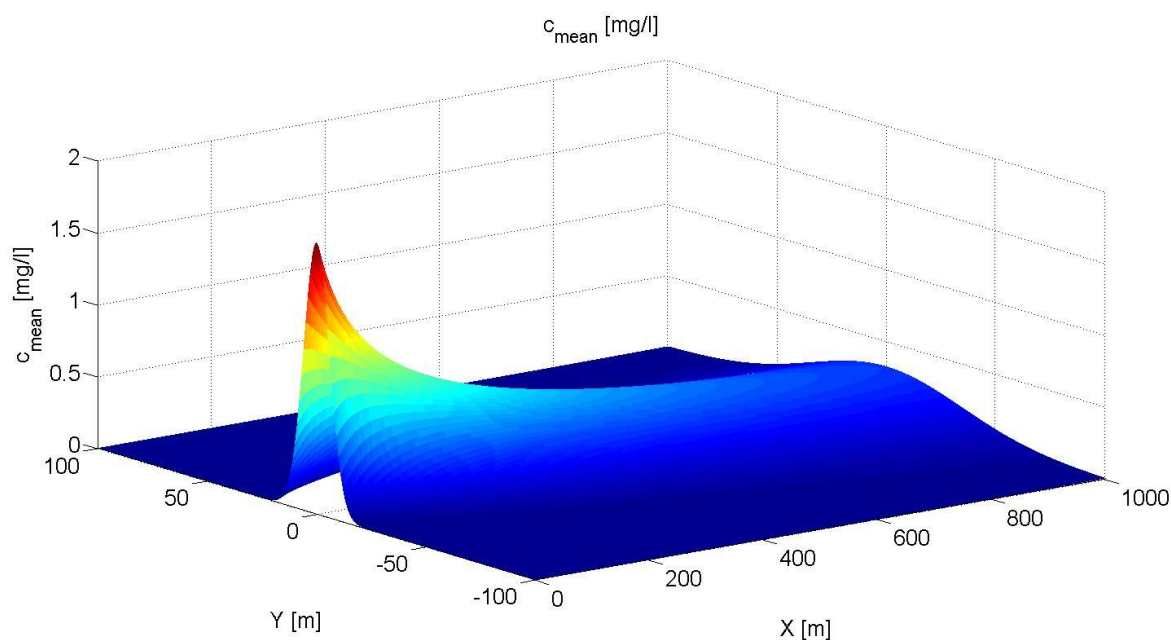
Slika 2.17 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog dušika s granicom prekoračenja zadanom na 1 mg/l za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Žrnovnice za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Ukupni fosfor

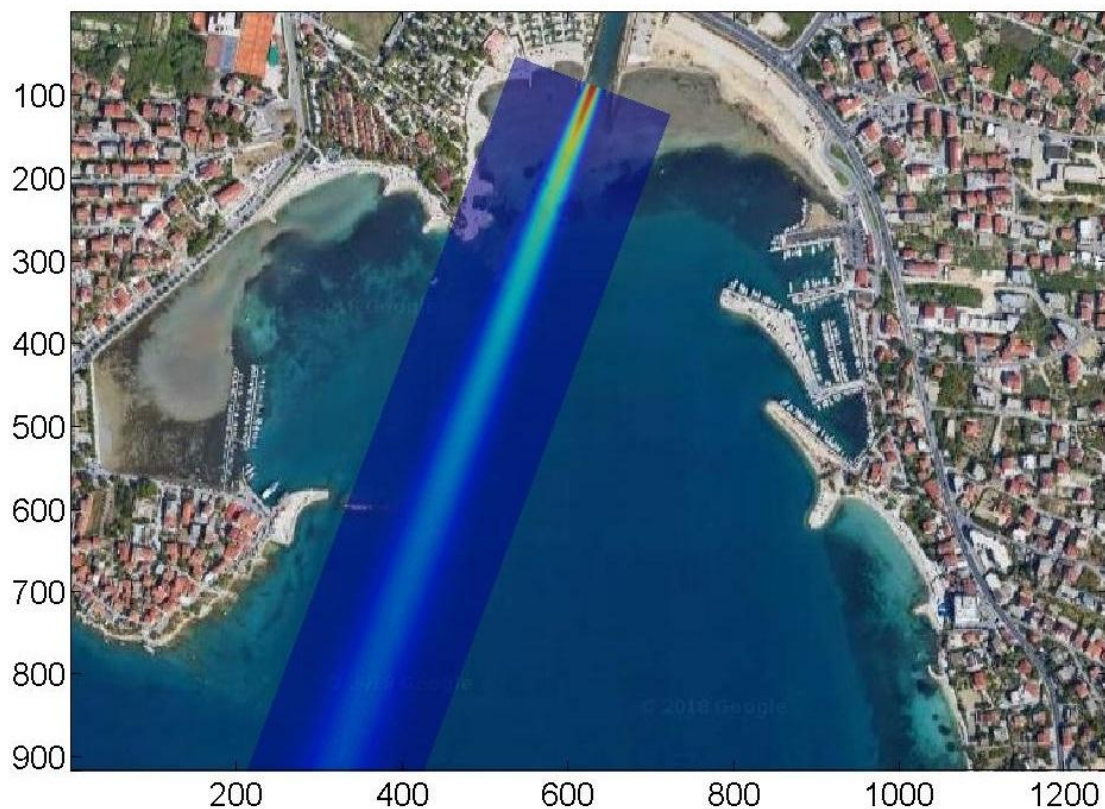
Na slici 2.18 nalaze se grafički prikazi srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća. Na izvoru onečišćenja, ušću, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost skoro 19 puta veću od dopuštene i udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 3,000 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog fosfora od 0.1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 700 metara, no veća je vjerojatnost da u stvarnosti, uslijed djelovanja morskih struja i valova koji ovdje nisu uzeti u obzir, srednja vrijednost koncentracije na puno manjoj udaljenosti postiže dopuštenu vrijednost, jer ta djelovanja osim ubrzanja razrjeđivanja povećavaju i njeno širenje.

Uspoređujući sliku 2.18 sa slikom 2.12 može se primijetiti da iako je maseni tok ukupnog fosfora iz rijeke Žrnovnice skoro 2 puta manji od onog iz rijeke Jadro, zbog vrlo niskog protoka Žrnovnice, rezultirajuća koncentracija na ušću Žrnovnice je skoro 4 puta veća. Također, vidljiv je i sporiji pad koncentracije ukupnog fosfora pri jednakim udaljenostima od izvora onečišćenja, što je posljedica manjeg koeficijenta turbulentne difuzije za ušće Žrnovnice.

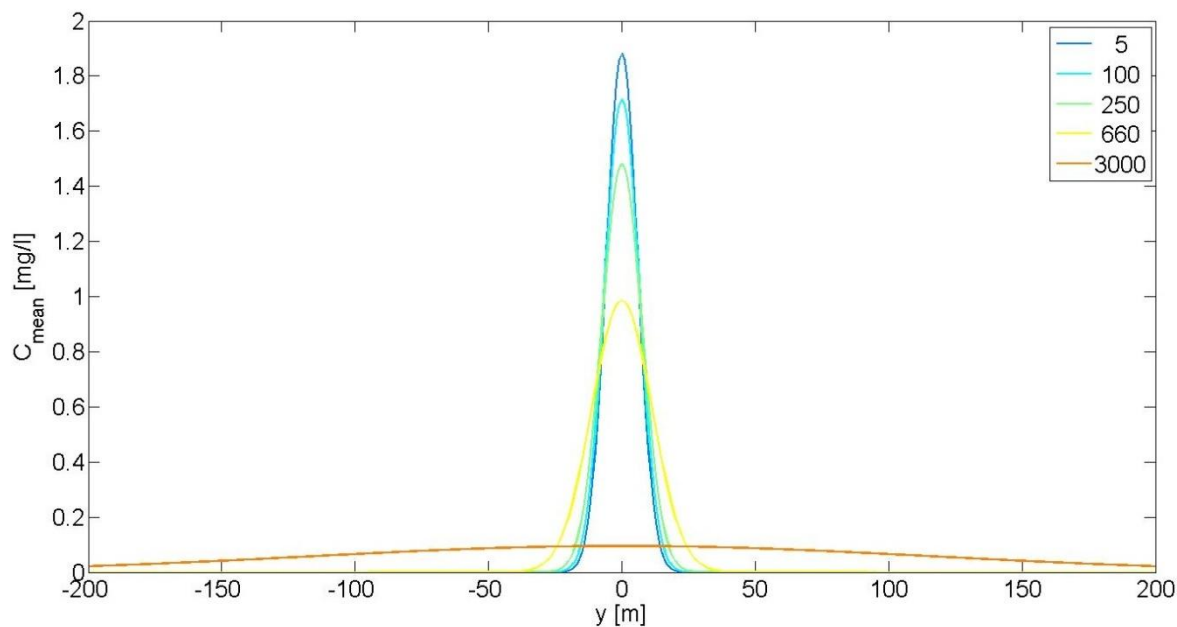
a)



b)



c)

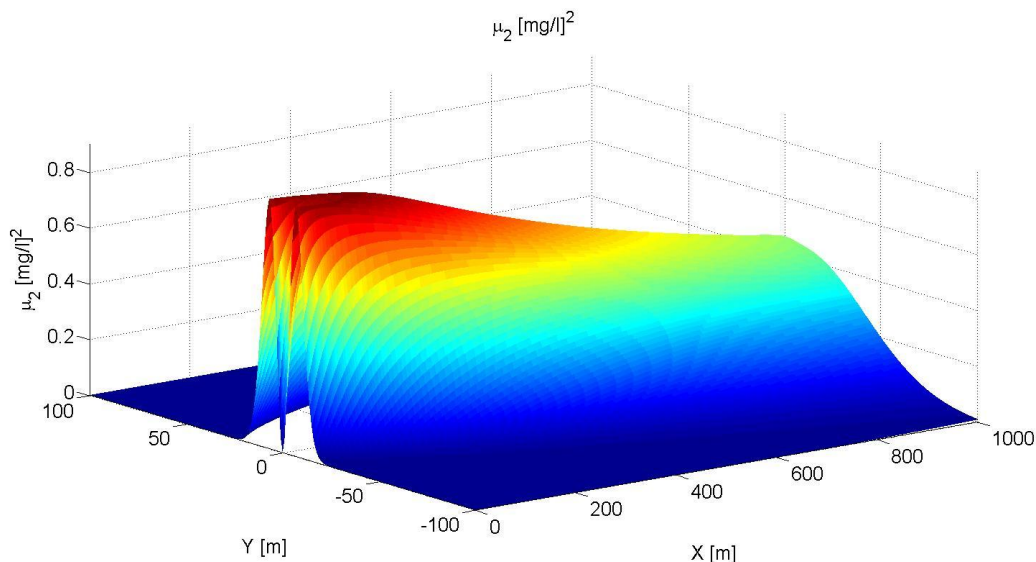


Slika 2.18 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

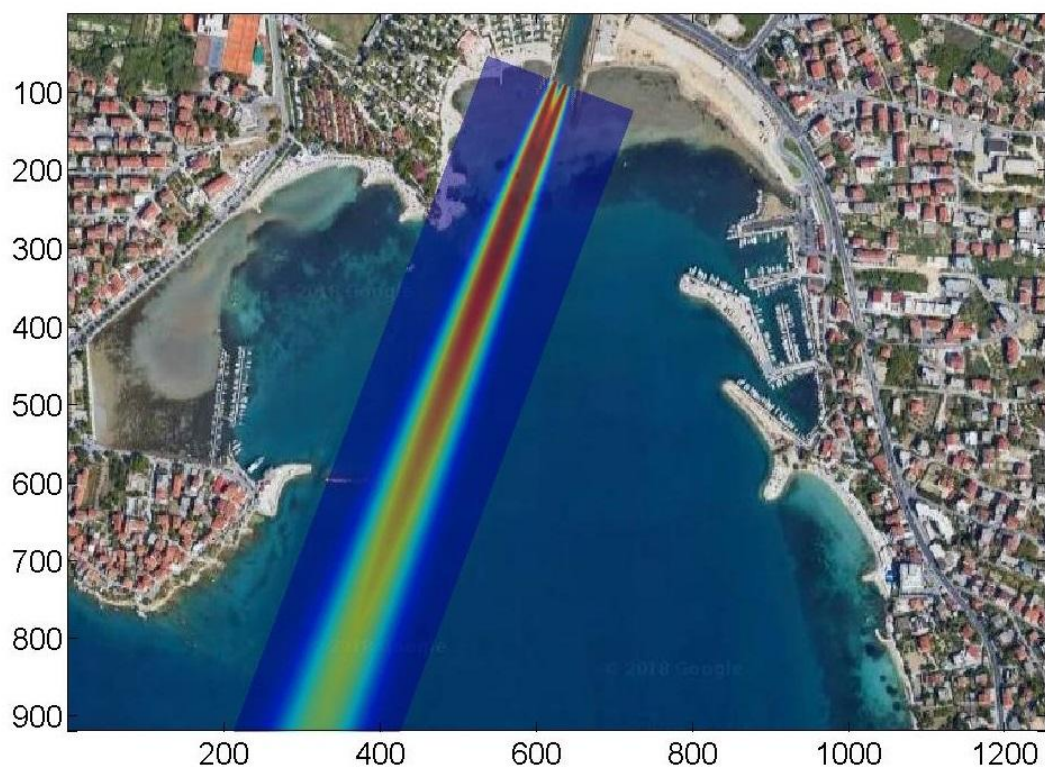
Na slici 2.19 nalaze se grafički prikazi varijance koncentracije ukupnog fosfora: u koordinatnom sustavu, na mapi i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Žrnovnice. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima nisku vrijednost u iznosu od 0.01 [mg/l]^2 , koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 0.06 [mg/l]^2 te naglo pada do nule, u rasponu od 25 metara. Također je vidljivo da udaljavanjem od ušća po osi tečenja, veličina varijance se smanjuje, a njezin raspon se povećava te da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Žrnovnice. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.

Usporedbom ove slike sa slikom 2.13, može se primijetiti da se u slučaju Žrnovnice transformacija bimodalnog oblika u uniformni odvija puno brže, zahvaljujući puno manjem koeficijentu turbulentne difuzije.

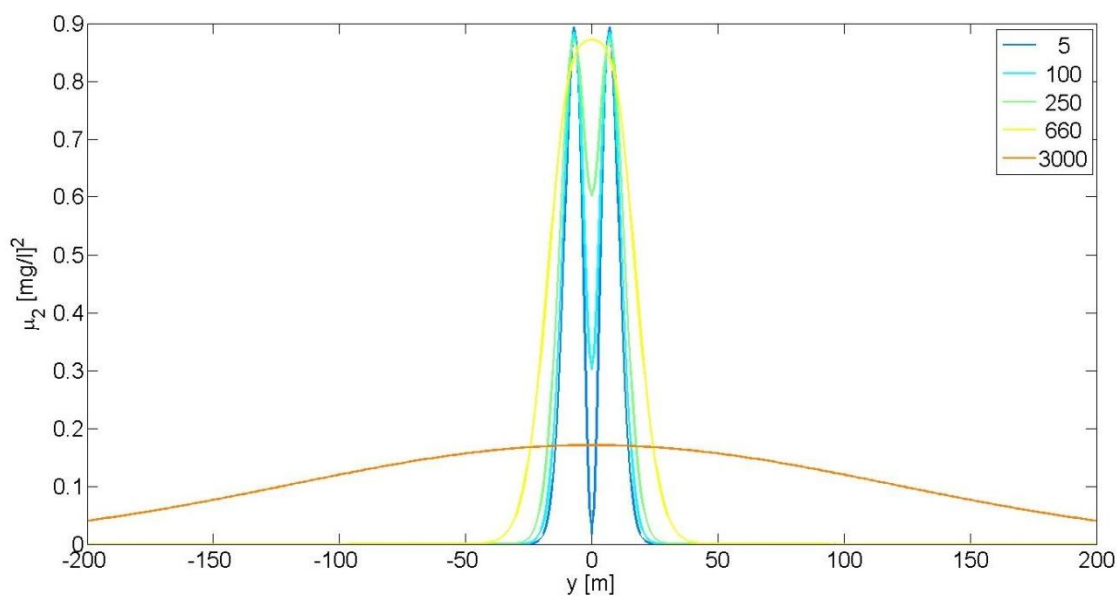
a)



b)

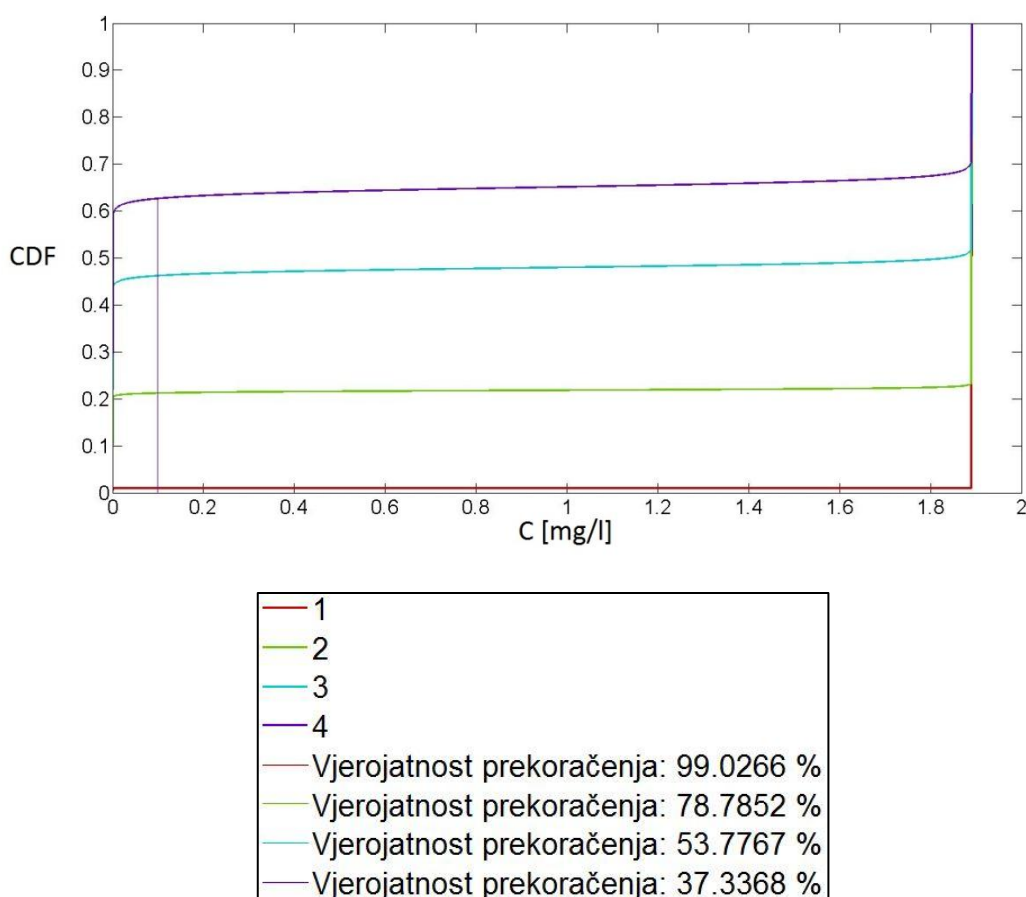


c)



Slika 2.19 Prikaz varijance koncentracije ukupnog fosfora na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) na pozadinskoj mapi; c) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

Na slici 2.20 prikazane su funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog fosfora za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća rijeke Žrnovnice. Prve tri nalaze se na osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od osi tečenja. CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.16 b). Za točku 1, koja je 5 metara udaljena od ušća, vjerojatnost prekoračenja iznosi 99.0%, za točku 2 iznosi 78.8%, za točku 3 iznosi 53.8% te za točku 4 ona iznosi 37.3%. U usporedbi s vjerojatnostima na ušću Jadra sa slike 2.14, vidljivo je da usprkos manjoj količini opterećenja koje se slijeva u ušće rijeke Žrnovnice, uslijed njezinog manjeg protoka, njezine vjerojatnosti prekoračenja su znatno veće od onih na ušću Jadra.



Slika 2.20 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog fosfora s granicom prekoračenja zadanom na 0.1 mg/l za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Žrnovnice za minimalni ljetni protok iz 2017. godine

2.2.3. Izračun statističkih parametara koncentracije hranjivih tvari za stanje najmanje izmjerene ljetnog protoka u proteklih 35 godina i povećanog opterećenja

Sada slijede proračuni statističkih momenata koncentracije hranjivih tvari za područja bliska ušćima rijeka Jadro i Žrnovnica, za slučaj potencijalnog „kritičnog stanja“ uslijed minimalnog ljetnog protoka u proteklih 35 godina te povećanog opterećenja.

Ulazni parametri sadrže:

- Maseni tok tvari [kg/dan] iznosi vrijednost opterećenja iz 2017. godine (iz tablice 11 iz potpoglavlja 3.1.4.) uvećane za procijenjenih 20%, koji su rezultat godišnjeg povećanja broja turista i sve većeg useljavanja ljudi iz sela u gradove.
- Protoke rijeka preuzete sa službene stranice Državnog hidrometeorološkog zavoda, DHMZ - Sektor za hidrologiju. Za rijeku Jadro su korišteni podatci s mjerne stanice Majdan, a za Žrnovnicu iz mjerne postaje Laboratorij. Odabrane su kritične vrijednosti minimalnih ljetnih protoka za razdoblje od 1983.-2017. Za Jadro je to minimalni ljetni protok iz 1994., a za Žrnovnicu iz 1993. godine.
- Ostale ulazne parametre koji su ostali isti kao i za razdoblje 2017. godine.

JADRO

Ulazni parametri:

Tablica 2.19 Ulazni podatci za proračun koncentracije na ušću rijeke Jadro u CPoRT-u za minimalni ljetni protok iz 1994. godine

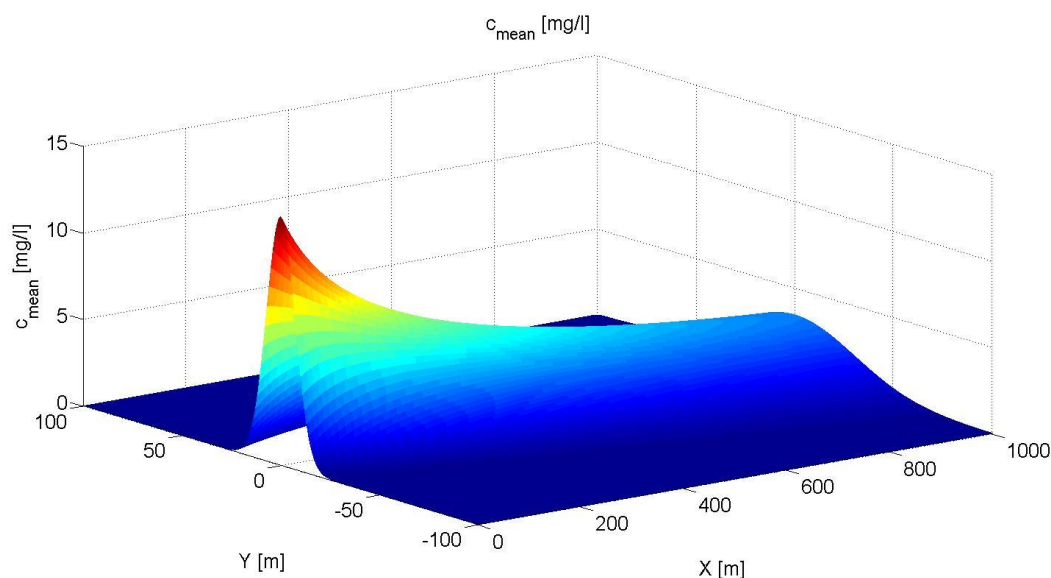
Brzina toka [m/s]	0.4
Koef. smanjenja brzine [1/m]	0.001
Maseni tok tvari N [kg/dan]	466.649
Izračunata koncentracija N [mg/l]	14.3647
Maseni tok tvari P [kg/dan]	39.835
Izračunata koncentracija P [mg/l]	1.2262
Protok vode [m ³ /s]	0.9
Koef. turbulentne difuzije [m ² /s]	1e-1
Koef. molekularne difuzije [m ² /s]	1e-9
Širina ušća [m]	43

Majdan (31.07.1994.)

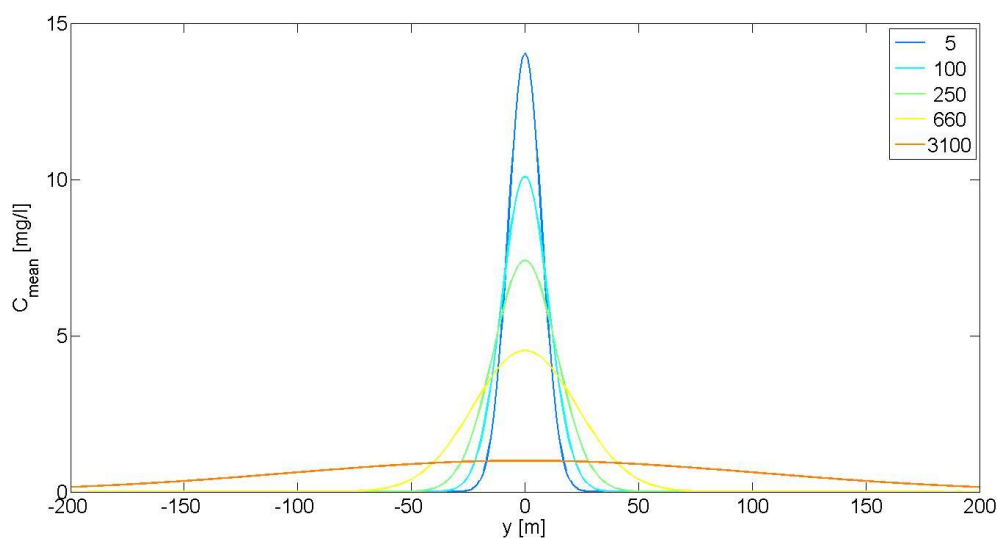
Ukupni dušik

Na slici 2.21 nalaze se grafički prikazi srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika u koordinatnom sustavu i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Jadra. Na izvoru onečišćenja, ušću rijeke Jadro, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost skoro 14 puta veću od dopuštene i udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 3,100 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog dušika od 1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 700 metara, no veća je vjerojatnost da u stvarnosti, uslijed djelovanja morskih struja i valova koji ovdje nisu uzeti u obzir, srednja vrijednost koncentracije na puno manjoj udaljenosti postiže dopuštenu vrijednost, jer ta djelovanja osim ubrzanja razrjeđivanja povećavaju i njeno širenje.

a)



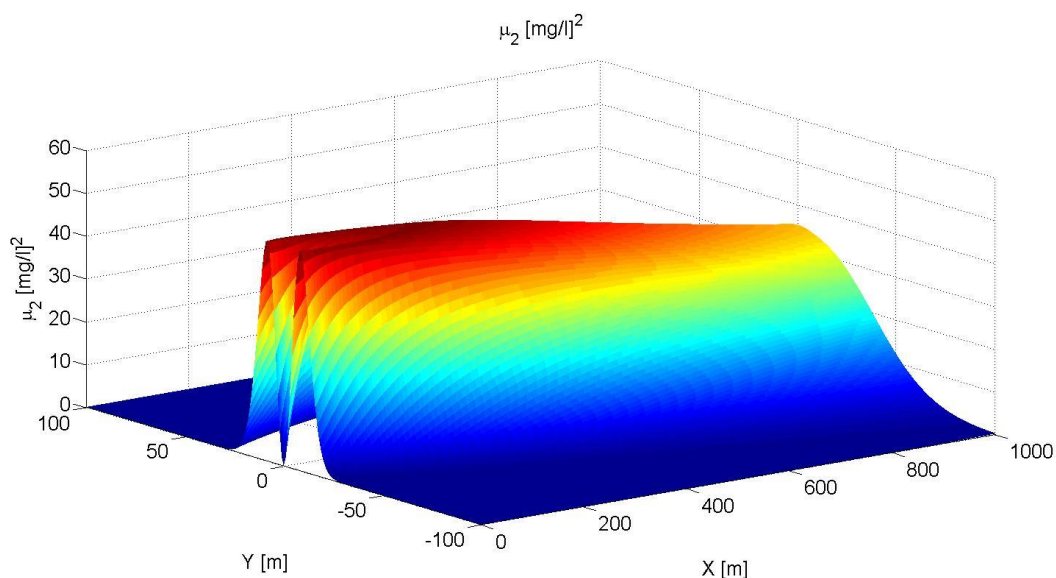
b)



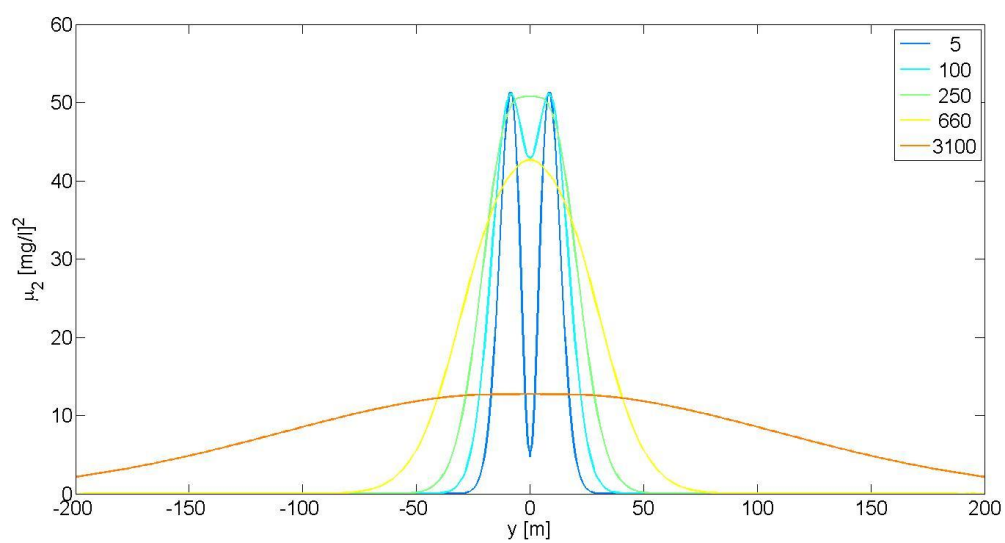
Slika 2.21 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika na ušću Jadra: a) u glavnom prozoru; b) za presjeka na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1994. godine

Na slici 2.22 nalaze se grafički prikazi varijance koncentracije ukupnog dušika: u koordinatnom sustavu i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća rijeke Jadro. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima vrijednost u iznosu od 5 [mg/l]^2 , koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 50 [mg/l]^2 te naglo pada do nule, u rasponu od 25 metara. Također je vidljivo da udaljavanjem od ušća po osi tečenja, veličina varijance se smanjuje, a njezin raspon se povećava. Iz slike također je vidljivo da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Jadra. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.

a)



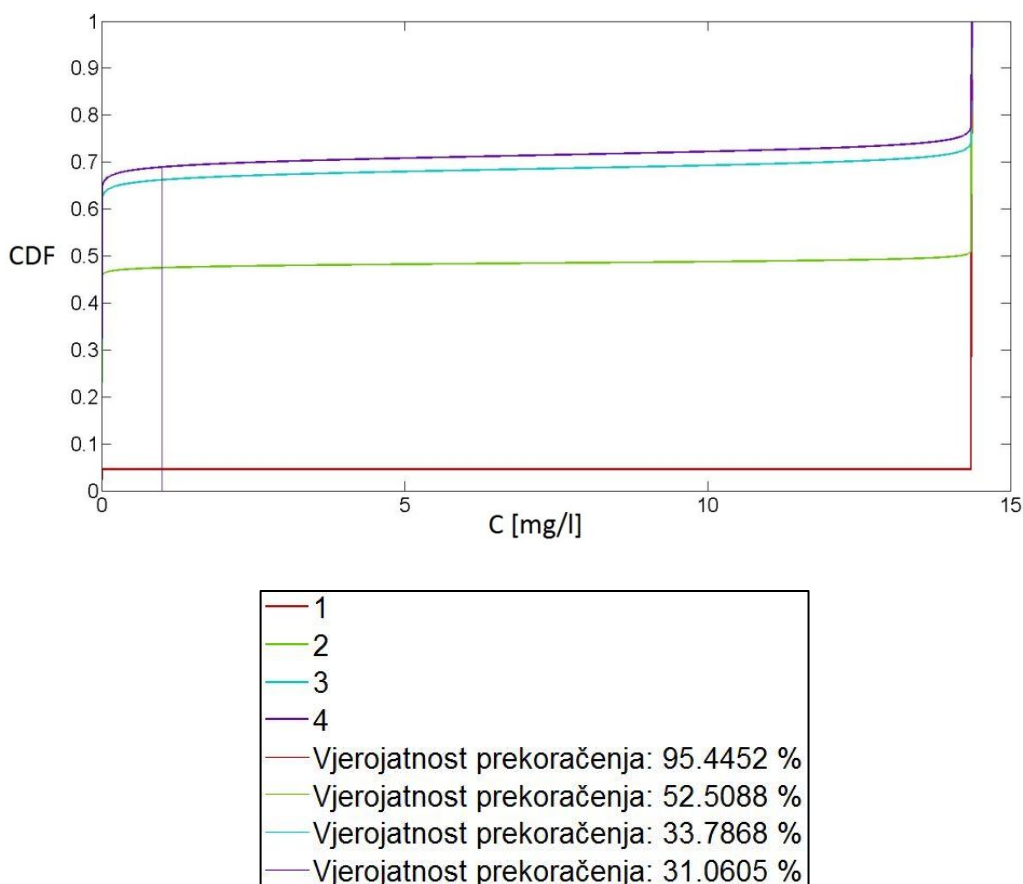
b)



Slika 2.22 Prikaz varijance koncentracije ukupnog dušika na ušću Jadra: a) u glavnom prozoru; b) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1994. godine

Na slici 2.23 prikazane su funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog dušika za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Jadra. Prve tri nalaze se na osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od osi tečenja. CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.10 b).

Za točku 1 vjerojatnost prekoračenja iznosi 95.4%, za točku 2 iznosi 52.5%, za točku 3 iznosi 33.8% te za točku 4 ona iznosi 31.1%. U usporedbi sa slikovnom situacijom na ušću Jadra iz 2017. godine koja se nalazi na slici 2.11, vidljivo je povećanje vjerojatnosti prekoračenja dopuštene vrijednosti uslijed smanjenog protoka i povećanog opterećenja koje, iako je neznatno u blizini samog ušća, raste što se više udaljavamo od ušća.

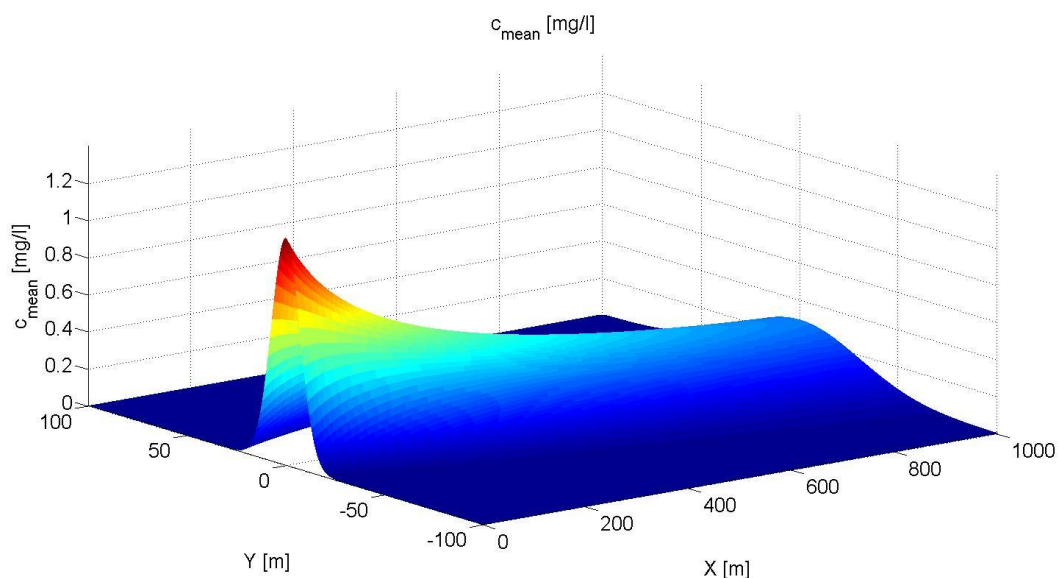


Slika 2.23 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog dušika s granicom prekoračenja zadanom na 1 mg/l za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Jadra za minimalni ljetni protok iz 1994. godine

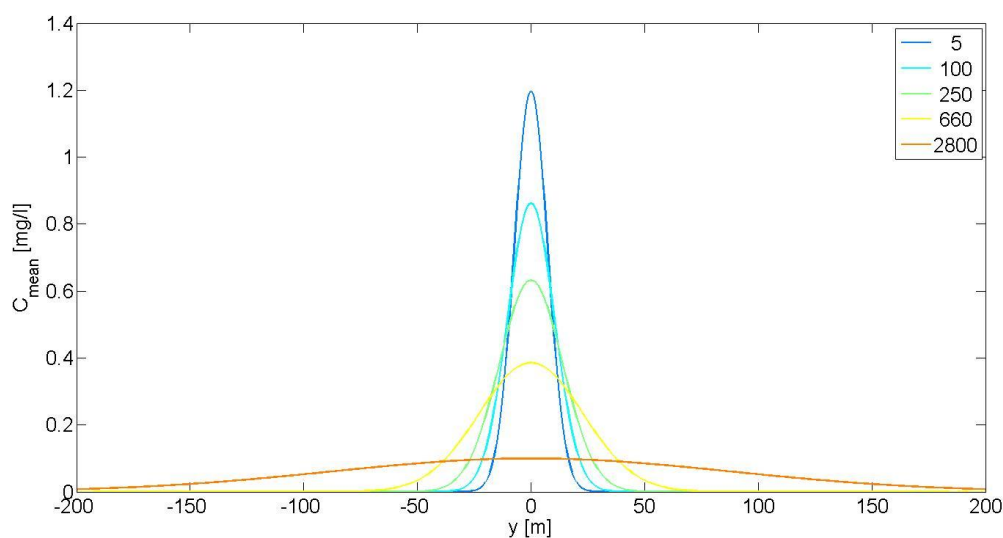
Ukupni fosfor

Na slici 2.24 nalaze se grafički prikazi srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora u koordinatnom sustavu i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Jadrana. Na izvoru onečišćenja, ušću, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost 12 puta veću od dopuštene i udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 2,800 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog fosfora od 0.1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 650 metara, no veća je vjerojatnost da u stvarnosti, uslijed djelovanja morskih struja i valova koji ovdje nisu uzeti u obzir, srednja vrijednost koncentracije na puno manjoj udaljenosti postiže dopuštenu vrijednost, jer ta djelovanja osim ubrzanja razrijeđenja povećavaju i njeno širenje.

a)



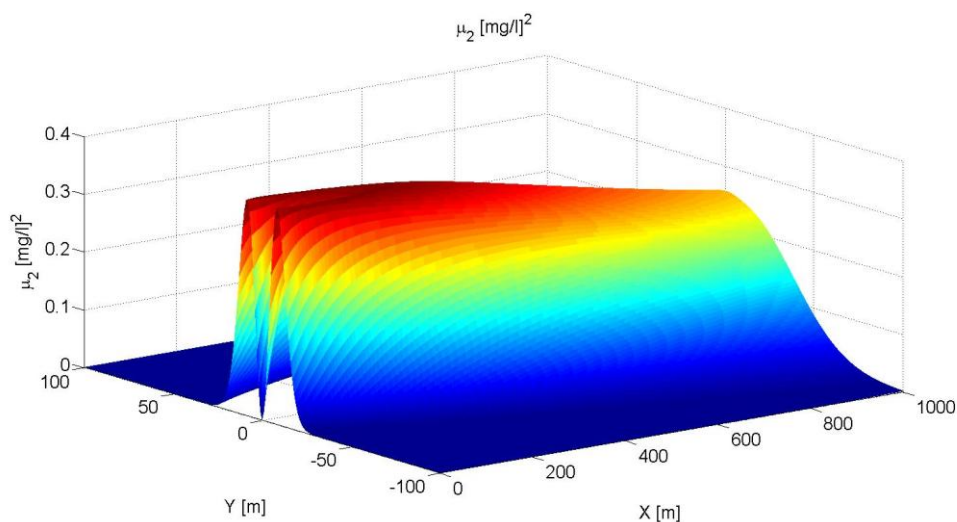
b)



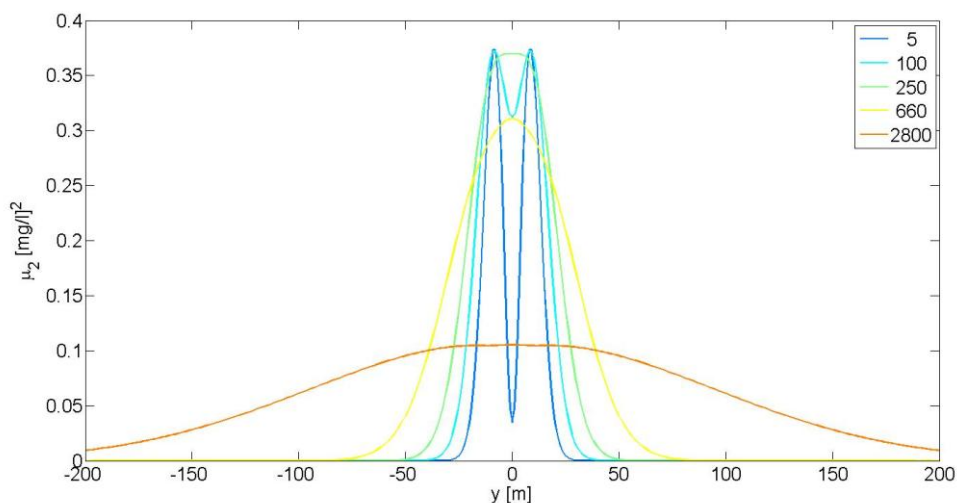
Slika 2.24 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora na ušću Jadrana: a) u glavnom prozoru; b) za presjeka na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1994. godine

Na slici 2.25 nalaze se grafički prikazi varijance koncentracije ukupnog fosfora u koordinatnom sustavu i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća rijeke Jadro. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima relativno nisku vrijednost u iznosu od 0.05 [mg/l]^2 , koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 0.37 [mg/l]^2 te naglo pada do nule, u rasponu od 25 metara. Također je vidljivo da udaljavanjem od ušća po osi tečenja, veličina varijance se smanjuje, a njezin raspon se povećava te da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Jadra. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.

a)



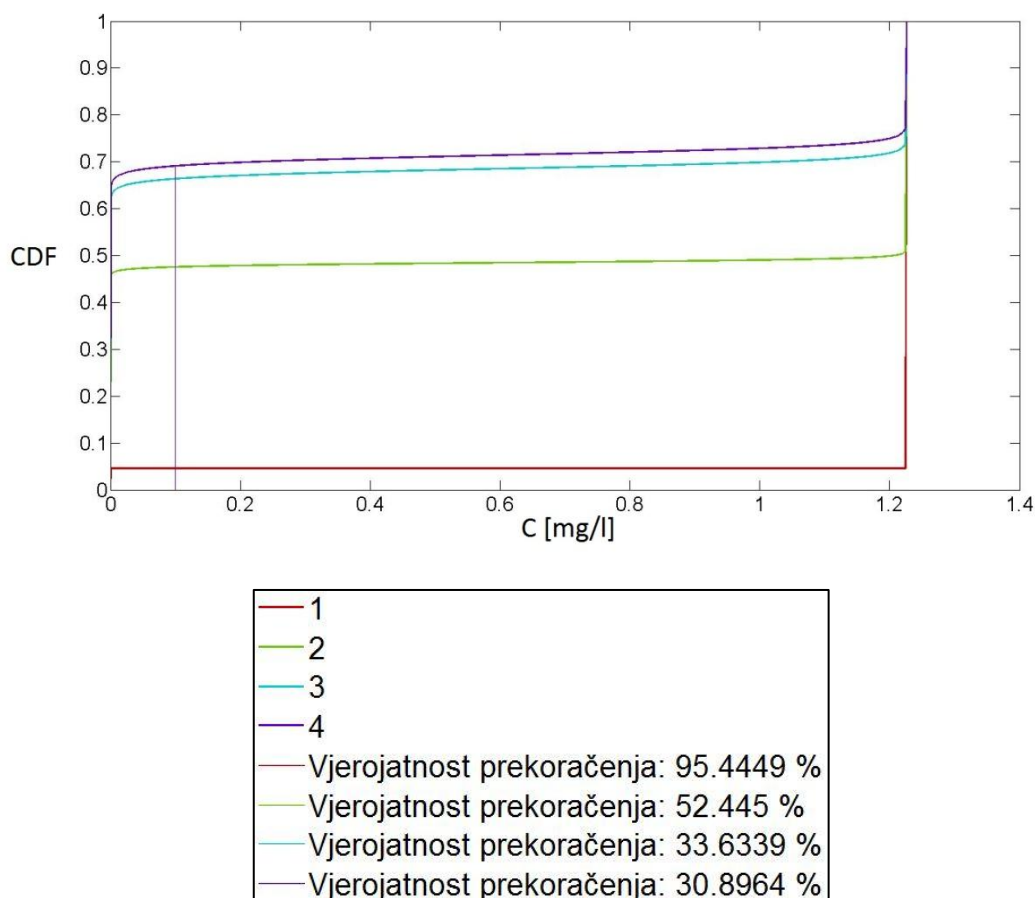
b)



Slika 2.25 Prikaz varijance koncentracije ukupnog fosfora na ušću Jadra: a) u glavnom prozoru; b) za presjeka na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1994. godine

Na slici 2.26 prikazane su funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog dušika za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Jadrana. Prve tri nalaze se na osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od osi tečenja. CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.10 b).

Za točku 1, koja je 5 metara udaljena od ušća, vjerojatnost prekoračenja iznosi 95.4%, za točku 2 iznosi 52.4%, za točku 3 iznosi 33.6% te za točku 4 ona iznosi 30.9%. U usporedbi sa slikovnom situacijom na ušću Jadrana iz 2017. godine koja se nalazi na slici 2.14, vidljivo je povećanje vjerojatnosti prekoračenja dopuštene vrijednosti uslijed smanjenog protoka i povećanog opterećenja koje, iako je neznatno u blizini samog ušća, raste što se više udaljavamo od ušća.



Slika 2.26 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog fosfora s granicom prekoračenja zadanom na 0.1 mg/l za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Jadrana za minimalni ljetni protok iz 1994. godine

ŽRNOVNICA

Ulazni parametri:

Tablica 2.20 Ulazni podaci za proračun koncentracije ukupnog dušika i ukupnog fosfora na ušću rijeke Žrnovnica u CPoRT-u za minimalni ljetni protok iz 1993. godine

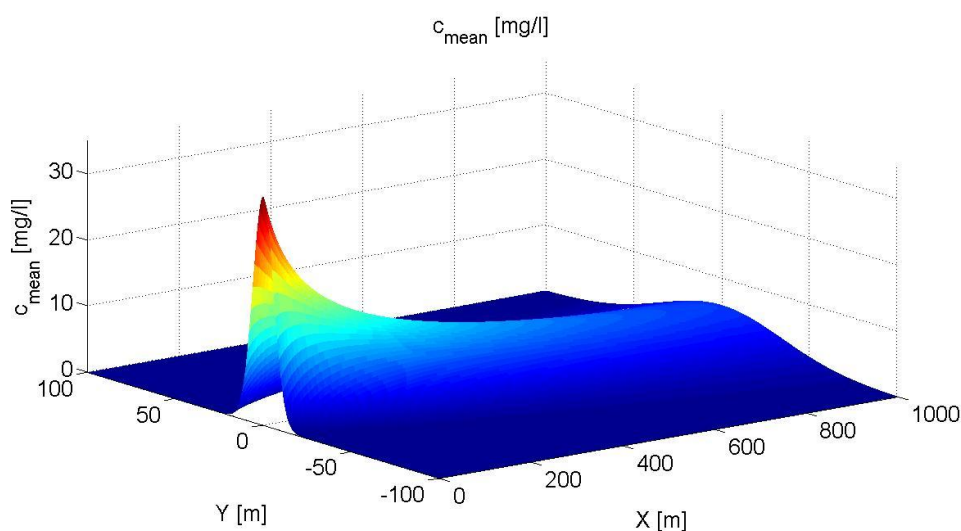
Brzina toka [m/s]	0.3
Koef. Smanjenja brzine [1/m]	0.002
Maseni tok tvari N [kg/dan]	248.948
Izračunata koncentracija N [mg/l]	34.658
Maseni tok tvari P [kg/dan]	21.876
Izračunata koncentracija P [mg/l]	3.0455
Protok vode [m ³ /s]	0.199
Koef. turbulentne difuzije [m ² /s]	1e-2
Koef. molekularne difuzije [m ² /s]	1e-9
Širina ušća [m]	35

Laboratorij (01.09.1993.)

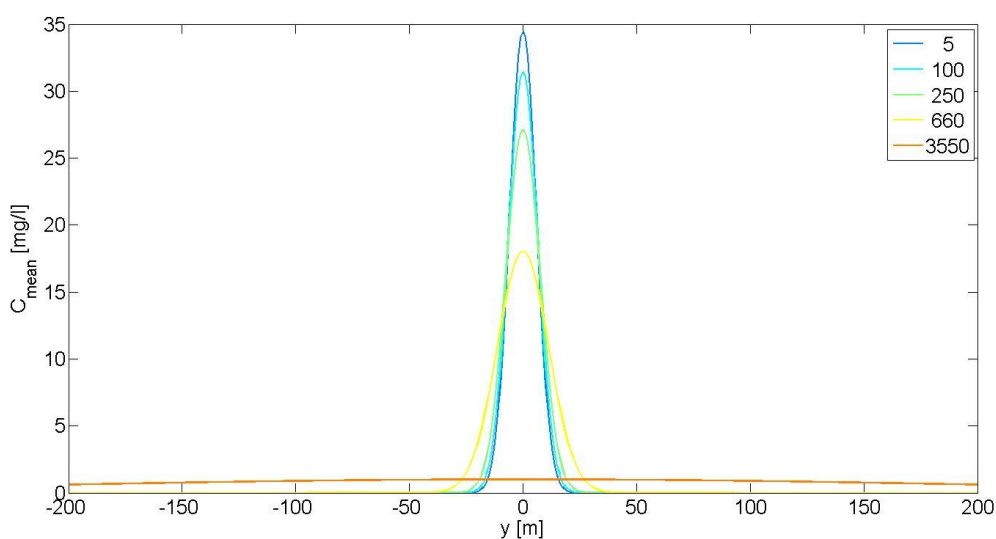
Ukupni dušik

Na slici 2.27 nalaze se grafički prikazi srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika u koordinatnom sustavu x i y u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Žrnovnice. Na izvoru onečišćenja, ušću, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost skoro 35 puta veću od dopuštene i udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 3,550 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog dušika od 1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 1,300 metara, no veća je vjerojatnost da u stvarnosti, uslijed djelovanja morskih struja i valova koji ovdje nisu uzeti u obzir, srednja vrijednost koncentracije na puno manjoj udaljenosti postiže dopuštenu vrijednost, jer ta djelovanja osim ubrzanja razrijeđenja povećavaju i njeno širenje.

a)

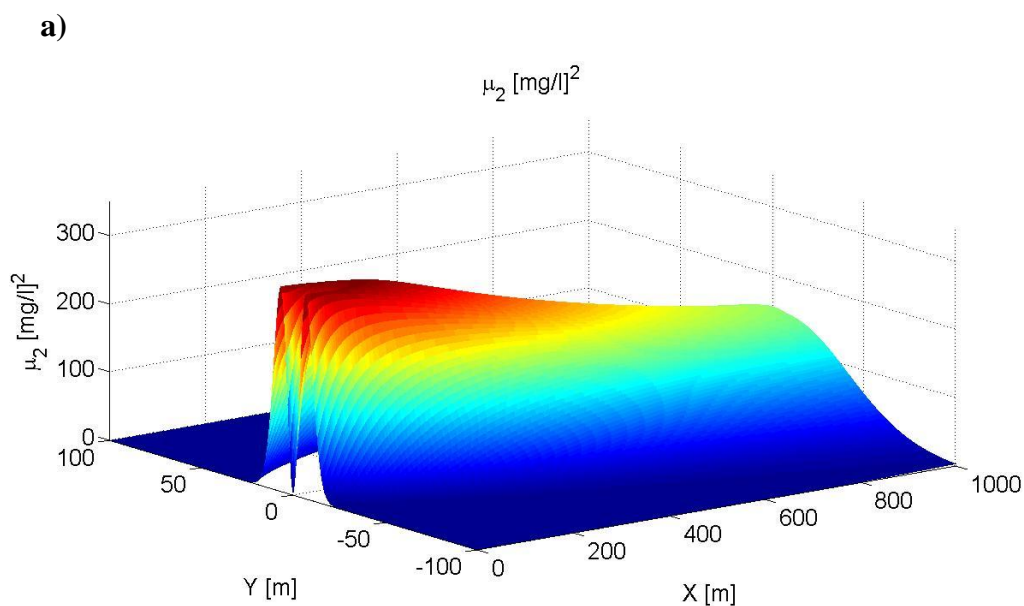


b)

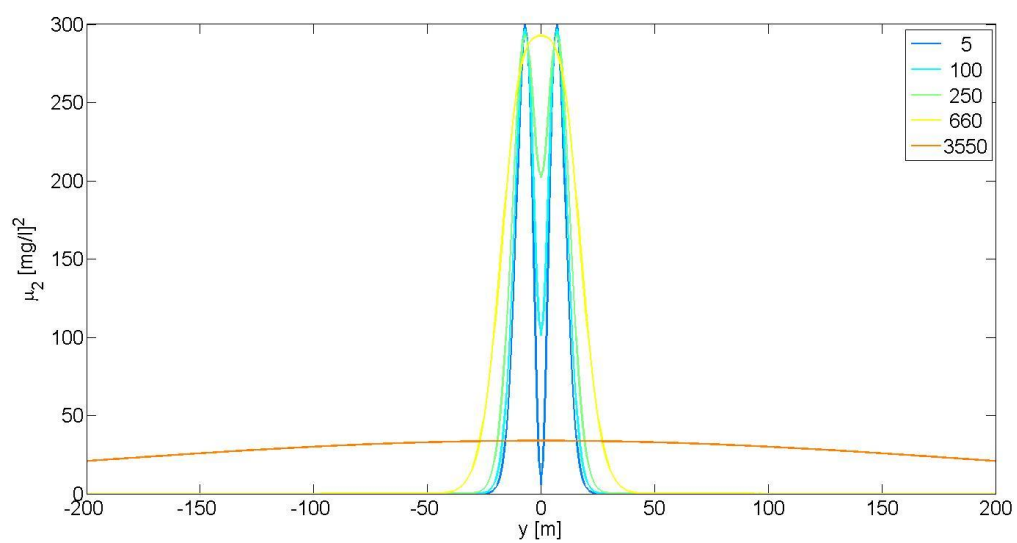


Slika 2.27 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog dušika na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) za presjeka na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1993. godine

Na slici 2.28 nalaze se grafički prikazi varijance koncentracije ukupnog dušika u koordinatnom sustavu i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća rijeke Jadro. Varijanca koncentracije predstavlja mjeru raspršenja vrijednosti koncentracije od njezine srednje vrijednosti koncentracije. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima vrijednost nula, koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 300 [mg/l]^2 te naglo pada do nule, u rasponu od 20 metara. Također je vidljivo da udaljavanjem od ušća po osi tečenja, veličina varijance se smanjuje, a njezin raspon se povećava te da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Žrnovnice. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.



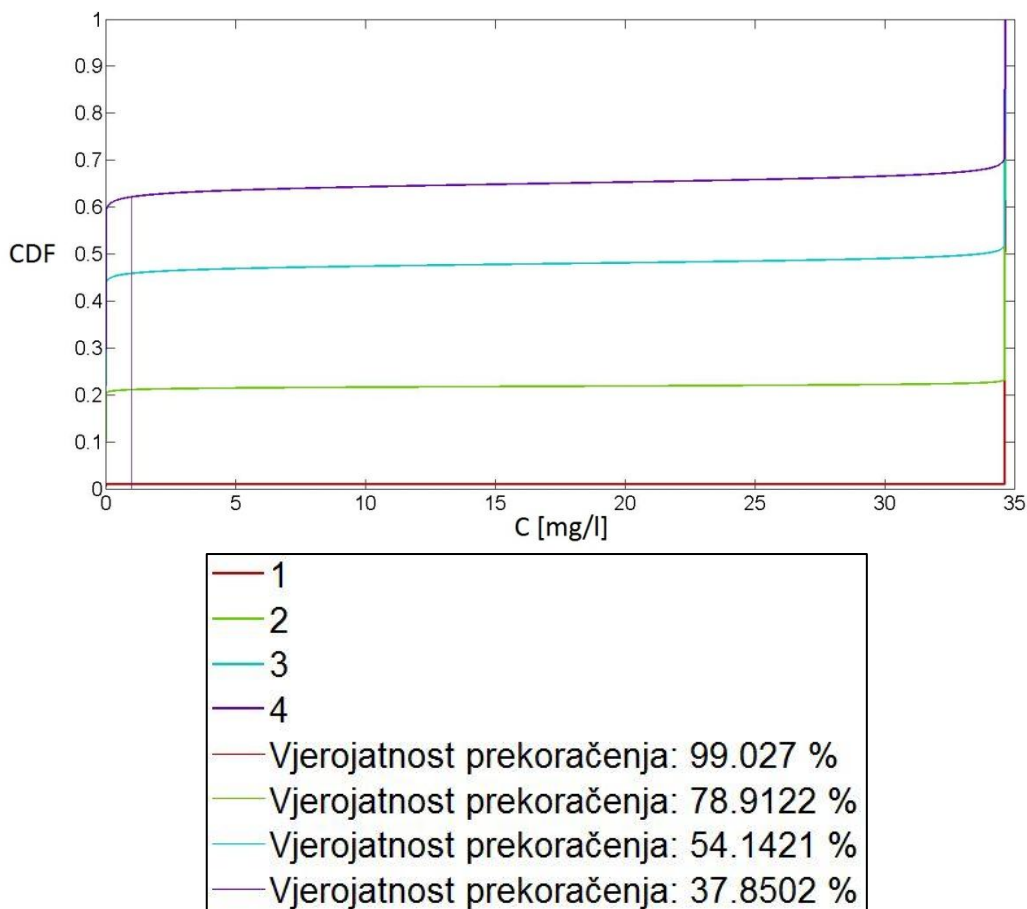
b)



Slika 2.28 Prikaz varijance koncentracije ukupnog dušika na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1993. godine

Na slici 2.29 prikazane su funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog dušika za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Žrnovnice. Prve tri se nalaze na osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od osi tečenja. CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.16 b).

Za točku 1 vjerojatnost prekoračenja iznosi 99.0%, za točku 2 iznosi 78.9%, za točku 3 iznosi 54.1% te za točku 4 ona iznosi 37.9%. U usporedbi sa slikovnom situacijom na ušću Žrnovnice iz 2017. godine, koja se nalazi na slici 2.17, vidljivo je povećanje vjerojatnosti prekoračenja dopuštene vrijednosti uslijed smanjenog protoka i povećanog opterećenja koje, iako je neznatno u blizini samog ušća, raste što se više udaljavamo od ušća.

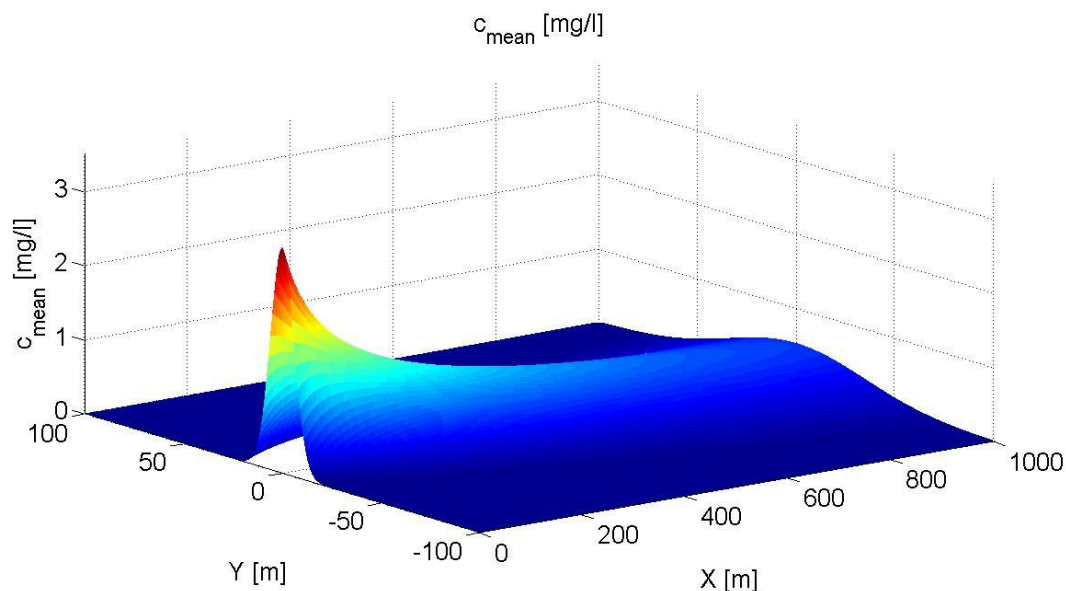


Slika 2.29 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog dušika s granicom prekoračenja zadanom na 1 mg/l za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća Žrnovnice za minimalni ljetni protok iz 1993. godine

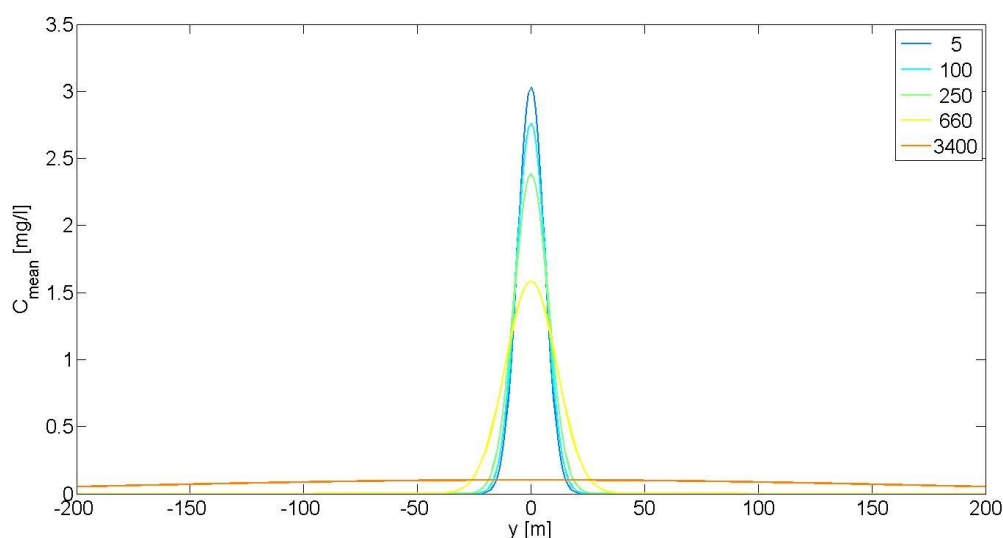
Ukupni fosfor

Na slici 2.30 nalaze se grafički prikazi srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora u koordinatnom sustavu x i y u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Žrnovnice. Na izvoru onečišćenja, ušću, srednja vrijednost koncentracije postiže vrijednost 30 puta veću od dopuštene te udaljavanjem od ušća njezina vrijednost jednoliko ubrzano pada. Na oko 3,400 metara od ušća ona postiže dopuštenu vrijednost ukupnog fosfora od 0.1 mg/l, gdje joj širina utjecaja doseže do 800 metara, no veća je vjerojatnost da u stvarnosti, uslijed djelovanja morskih struja i valova koji ovdje nisu uzeti u obzir, srednja vrijednost koncentracije na puno manjoj udaljenosti postiže dopuštenu vrijednost, jer ta djelovanja osim ubrzanja razrijeđenja povećavaju i njeno širenje.

a)



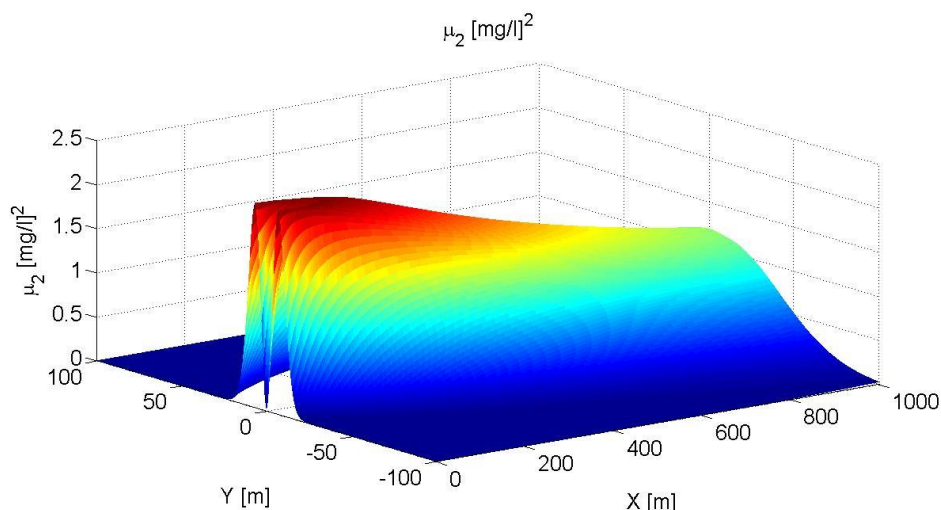
b)



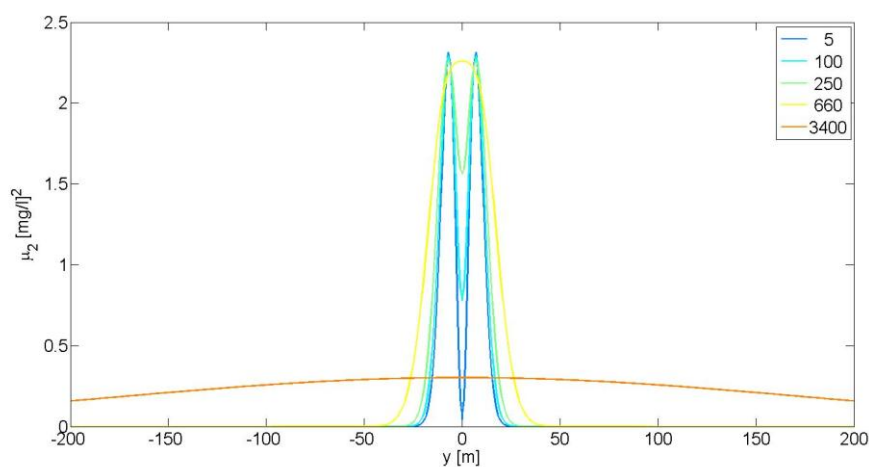
Slika 2.30 Prikaz srednje vrijednosti koncentracije ukupnog fosfora na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) za presjeka na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1993. godine

Na slici 2.31 se nalaze grafički prikazi varijance koncentracije ukupnog fosfora u koordinatnom sustavu i u 5 presjeka na odabranim udaljenostima od ušća Jadra. Kako je vidljivo iz slike, varijanca u točki koja se nalazi blizu izvora onečišćenja i na osi tečenja poprima nisku vrijednost nula, koja se udaljavanjem okomito na smjer osi tečenja, naglo povećava do vrijednosti 2.3 [mg/l]^2 te naglo pada do nule, u rasponu od 20 metara. Također je vidljivo da udaljavanjem od ušća po osi tečenja, veličina varijance se smanjuje, a njezin raspon se povećava te da u blizini ušća varijanca poprima vrlo izražen bimodalni oblik, koji se javlja kao posljedica prevlasti advekcije nad difuzijom i varijabilnosti koncentracije uslijed geometrije izvora opterećenja, tj. ušća Žrnovnice. Udaljavanjem od ušća, utjecaj advekcije pada, a utjecaj difuzije raste te oblik funkcije varijance postupno prelazi u unimodalni oblik.

a)



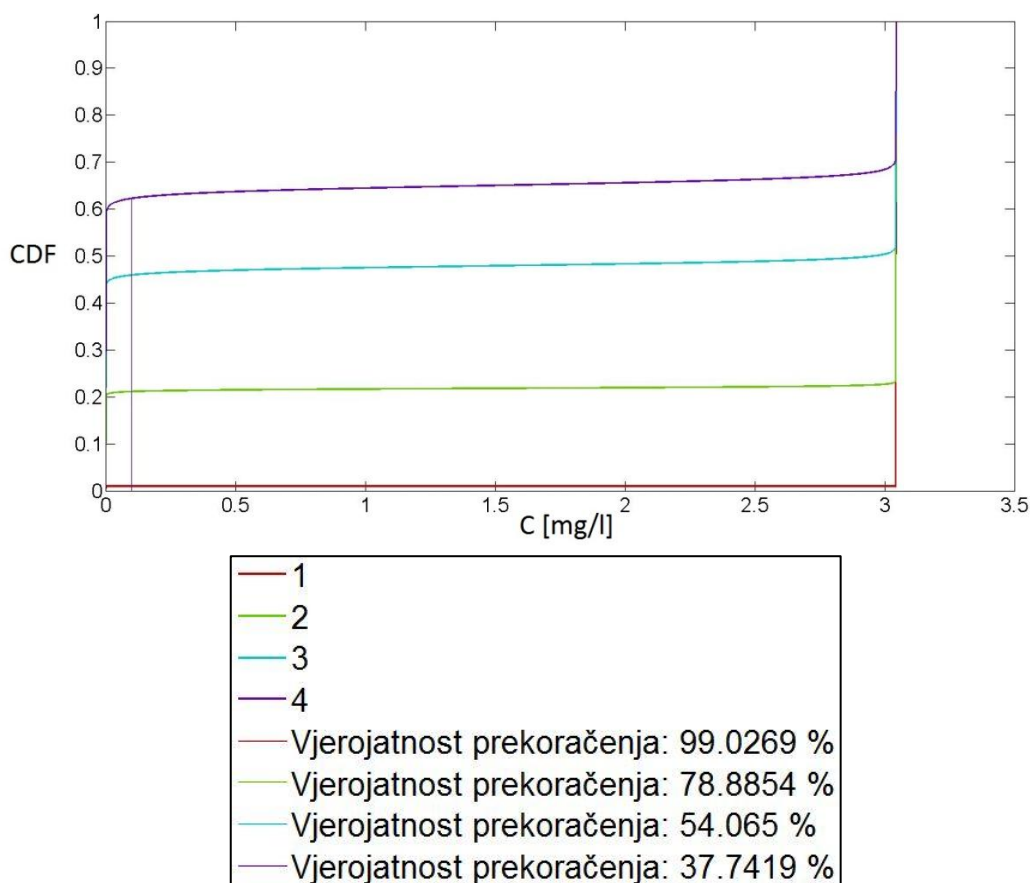
b)



Slika 2.31 Prikaz varijance koncentracije ukupnog fosfora na ušću Žrnovnice: a) u glavnom prozoru; b) za presjeke na različitim udaljenostima od ušća za minimalni ljetni protok iz 1993. godine

Na slici 2.32 prikazane se funkcije kumulativne distribucije koncentracije ukupnog fosfora za četiri točke na različitim udaljenostima od ušća. Prve tri se nalaze na osi tečenja i udaljene su 10, 250 i 660 metara od ušća, a četvrta točka se nalazi na udaljenosti od 660 metara od ušća uz dodatni pomak za 10 metara od osi tečenja. CDF krivulja broj 1 pripada točki koja je 10 metara udaljena od ušća; krivulja broj 2 točki udaljenoj 250 metara od ušća; krivulja broj 3 točki udaljenoj 660 metara od ušća, a krivulja broj 4 pripada točki koja se nalazi na 660 metara udaljenosti od ušća po osi tečenja te 10 metara udaljenosti od osi tečenja. Položaji točaka u prostoru mogu se vidjeti na slici 2.16 b).

Za točku 1 vjerojatnost prekoračenja iznosi 99.0%, za točku 2 iznosi 78.9%, za točku 3 iznosi 54.1 % te za točku 4 ona iznosi 37.7 %. U usporedbi sa slikovnom situacijom na ušću Jadra iz 2017. godine koje se nalazi na slici 2.20, vidljivo je povećanje vjerojatnosti prekoračenja dopuštene vrijednosti uslijed smanjenog protoka i povećanog opterećenja koje, iako je neznatno u blizini samog ušća, raste što se više udaljavamo od ušća.



Slika 2.32 Prikaz CDF krivulja koncentracije ukupnog fosfora s granicom prekoračenja zadanom na 0.1 mg/l za tri točke na udaljenosti od 10/250/660 metara od ušća za minimalni ljetni protok iz 1993. godine

3. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom analizirani su svi potencijalni uzroci opterećenja hranjivim tvarima (N i P) te njihove vrijednosti za akvatorij Bračkog kanala u ljetnom periodu godine, s posebnim naglaskom na lokalizirana područja ušća rijeka Jadro i Žrnovnica. Promatran je period s najnovije dostupnim podacima, u ovom slučaju je to 2017. godina i razdoblja najnižih protoka, a to je 1994. za rijeku Jadro i 1993. za rijeku Žrnovnicu. Nakon prikupljanja svih dostupnih podataka o izvorima opterećenja i njihovim veličinama, za cjelokupno područje akvatorija te za izdvojena područja slivova dviju rijeka, provedena je procjena unosa hranjivih tvari koje preko njihovih ušća dopijevaju u okolno more.

Na osnovu te procjene je provedena statistička analiza, kojom su se određivale vrijednosti koncentracije, srednje vrijednosti i drugog centralnog momenta te kumulativne funkcije distribucije, uz korištenje programa za procjenu rizika od zagađenja uzrokovanog rijekama i ispuštima u priobalju, imena CPoRT.

Iako Brački kanal, zbog svojih prirodnih karakteristika, nije ugrožen od trenutnih količina ukupnog dušika i ukupnog fosfora koje se unose u njega iz raznih izvora, jednako ne vrijedi i za neke njegove rubne dijelove, poput ušća rijeka Jadro i Žrnovnica. Ta ušća su relativno zatvorena kopnom s obzirom na smjer kretanja morskih struja Bračkog kanala i kao takva su pod puno većim rizikom od pretjeranog zagađenja hranjivim tvarima zbog nedovoljne mogućnosti samopročišćavanja s obzirom na unos opterećenja.

Usljed smanjenih protoka rijeka Jadro i Žrnovnice u sušnim razdobljima, koncentracije znaju narasti i do više desetaka puta viših vrijednosti od dozvoljenih, što se može iščitati iz rezultata analize CPoRT-a za potencijalne kritične situacije smanjenih protoka i povećanja opterećenja uslijed turizma i preseljenja u gradove. Još uvijek postoji problem što prevelik udio stanovništva nije spojen na sustav javne odvodnje, a postojeće mjere se nisu pokazale dovoljno djelotvornima u poticanju promjene ponašanja među običnim stanovništvom prema rješavanju problema vlastitih otpadnih voda. Još su uvijek potrebna dodatna proširenja sekundarne kanalizacijske mreže i strože kazne za nepoštivanje zakona.

Hrvatske vode predstavljaju navrijedniji prirodni resurs u Hrvatskoj za koji je potrebno poduzeti sve dostupne i razumne mjere da bude očuvan za buduće generacije.

4. LITERATURA

- [1] Andricevic, R. (2008.). Exposure concentration statistics in the subsurface transport. *Advances in Water Resources*, 31(4), str. 714–725. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.01.007>
- [2] Bonacci, &. A. (2016.). *Hidrološka analiza krškog izvora Žrnovnice kod Splita*. Split: Hrvatske vode.
- [3] Chatwin, P. L. (1995.). Practical statistical models of environmental pollution. *Mathematical and Computer Modelling*, 21(9), 11-14.
- [4] Cvitković I., Ž. A. (2005). *Utjecaj marikulture na sustave*.
- [5] Decision, C., 2000a. (2000.). *DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. Bruxelles: Official Journal of the European Communities.
- [6] Decision, C., 2000b. . (2000.). *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23rd October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. Bruxelles: Official Journal of the European Communities. Dohvaćeno iz <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
- [7] Deltares. (2013.). *Diffuse water emissions in E-PRTR*.
- [8] Donnell, J. (1993.). Surface fronts in estuaries: A review. *Estuaries*, 16(1), 12-39. doi:<http://dx.doi.org/10.2307/1352761>
- [9] Državni zavod za statistiku. (2013). *Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011*. Dohvaćeno iz <https://www.dzs.hr/>
- [10] Državni zavod za statistiku. (2018). *Gradovi u statistici - Stanovništvo, procjena i prirodno kretanje*.
- [11] European Commision. (2009.). *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance Document No. 23 Guidance document on Eutrophication assesment in the context of european water policies: European Communities*.

- [12] Europski parlament, V. E. (2008). *Direktiva 2008/56/EZ Europskog Parlamenta i Vijeća*.
- [13] Galesic, M., Andricevic, R., Gotovac, H., & Srzic, V. (2016). Concentration statistics of solute transport for the near field zone of an estuary. *Advances in Water Resources*, 424-440.
- [14] Galešić, M., Andričević, R., Divić, V., & Šakić Trogrlić, R. (2018). New screening tool for obtaining concentration statistics of pollution generated by rivers in estuaries. *Water*.
- [15] Gotovac, H. G. (2009.). Maximum entropy algorithm with inexact upper entropy bound based on Fup basis functions with compact support. *Journal of Computational Physics*, 228(24), 9079–9091. doi:10.1016/j.jcp.2009.09.011
- [16] Grizzetti B., B. F. (2005.). A statistical method for source apportionment of riverine nitrogen loads. *Journal of Hydrology*, 304, 302-315.
- [17] Institut za oceanografiju i ribarstvo. (2012.). *Početna procjena stanja i opterećenja morskog okoliša hrvatskog dijela*. Split: Ministarstvo zaštite okoliša i prirode.
- [18] Ippen, A. &. (1966.). *Estuary and coastline hydrodynamics*. McGraw-Hill Book Co.
- [19] Jakl, m. s. (2015.). *Tematska studija: Zaštita i korištenje ekosustava*. Ministarstvo zaštite okoliša i prirode.
- [20] Järvet, A. (2013.). *Case study report on Gauja/Koiva River to test and demonstrate the elaborated significance criteria -"Analysis of the diffuse pollution loads and the resulting impact"*. Tartu: NGO Development Centre of Livonia.
- [21] Kapelj, e. a. (2013.). *Assessment of the aquifer intrinsic vulnerability by the SINTACS method*.
- [22] Katavić, I. (2006.). *Rizici eutrofikacije kao posljedica nekontrolirane hranidbe riba u kaveznom uzgoju*.
- [23] Ljubenković, I., & Vranješ, M. (2013.). *Zaslanjivanje ušća rijeke Jadro - mjerenje i hidrodinamičko modeliranje*. voda.hr.

- [24] Mesarić, M. (2015.). *Strateška studija o vjerojatno značajnom utjecaju na okoliš Okvirnog plana i programa straživanja i eksploatacije ugljikovodika na Jadranu*. Zagreb: Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske.
- [25] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, Z. z. (2012.). *Izvešće o stanju u prostoru Republike Hrvatske 2008.-2012*. Zagreb.
- [26] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode. (2012.). *Operativni program Okoliš*.
- [27] OSPAR. (2004.). Guideline 5: Quantification and reporting of nitrogen and phosphorus losses from households not connected to public sewerage.
- [28] Schwede, R. C. (2008.). Impact of sampling volume on the. *Water Resources Research*, 44(12), 1-16. doi:<https://doi.org/10.1029/2007WR006668>
- [29] Simpson, J. e. (1990.). Tidal Straining, Density Currents, and Stirring in the Control of Estuarine Stratification. *Estuaries*, 13(2), 125. doi:<http://link.springer.com/article/10.2307/1351581>
- [30] Sullivan, P. (2004.). The influence of molecular diffusion on the distributed moments of a scalar PDF. 15(2), str. 173–191. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/env.633>
- [31] Sullivan, P. Y. (1996.). Moment inversion for contaminant concentration in turbulent flows. *Canadian Applied Mathematics Quarterly*, 4(3), 341–358.
- [32] Šimić, d. i. (2016.). *Kontrola izvora onečišćenja voda*. Zagreb: Hrvatske vode.
- [33] UNEP/MAP. (2012.). *Initial Integrated Assessment of the Mediterranean Sea*.
- [34] Vlada Republike Hrvatske. (2013.). *Plan upravljanja vodnim područjima*. Zagreb: Narodne novine.
- [35] Wang, J. e. (2015.). The Effect of Discharge, Tides, and Wind on Lift-Off Turbulence. *Estuaries and Coasts*, 38(6), 1–15. doi:<http://link.springer.com/10.1007/s12237-015-9958-y>