



**NACIONALNI INŠTITUT ZA BIOLOGIJO
MORSKA BIOLOŠKA POSTAJA**

**REDČENJE ONESNAŽENIH METEORNIH VODA S PODMORSKIMI
PRELIVNIMI IZPUSTI V PIRANSKEM ZALIVU**

September 2019

Malačič, V. (2019). Redčenje onesnaženih meteornih voda s podmorskimi prelivnimi izpusti v Piranskem zalivu. Elaborat. Morska biološka postaja, Nacionalni inštitut za biologijo, Piran, 22 str. Poročila 183. Naročnik: Javno podjetje Okolje Piran, d.o.o.

KAZALO

UVODNI PREMISLEK	2
UVODNI PREGLED OBJAV IN PODATKOV ZA DOLOČITEV REDČENJA IZPUSTOV.....	3
TOKOVI	5
GOSTOTA.....	10
METODA IZRAČUNA ZAČETNEGA REDČENJA.....	11
METODA IZRAČUNA SEKUNDARNEGA REDČENJA	12
REZULTATI	15
Začetno redčenje	15
Sekundarno redčenje.....	16
Predlog izpustov.....	18
ZAKLJUČNA MISEL.....	19
ZAHVALA	20
LITERATURA	20

Uvodni premislek

Javno podjetje Okolje Piran, d.o.o je soočeno s fekalno onesnaženimi meteornimi vodami. Ta pojav je prisoten ob izrazitejših nalivih v vseh letnih časih, do izraza pa seveda pride v poletnem obdobju, ko so v Piranskem zalivu prisotni kopalci in se izvajajo številne druge rekreativne dejavnosti. Na predlog direktorja podjetja je enota Morske biološke postaje Nacionalnega inštituta za biologijo sestavila ta elaborat, ki je v pomoč pri sprejemanju odločitve, ali bi npr. s podmorskimi izpusti uspeli v zadostni meri zmanjšati onesnaženje (registriranih) kopališč zaradi onesnaženih meteornih voda. V obravnavi je predvsem del severne obale Piranskega zaliva, to je območje med vzhodno stranjo nekdanjega skladišča soli (pred poslopjem nekdanje uprave podjetja Droga) in kopališčem pred hotelom Emona kompleksa Bernardin). Smiselna je proučitev postavitve podmorskih prelivnih cevi na treh obrežnih lokacijah obstoječih izpustov meteornih voda. Cevi bi naj peljale onesnaženo meteorno vodo po morskem dnu (malo nad njim) dovolj daleč proč od obale. Po možnosti bi se naj cevi zaključile z difuzorjem. Slednji je lahko zelo enostavno izveden, lahko pomeni zgolj bočno navrtan poslednji del/segment izpustne cevi in zaprt konec cevi. Bočne odprtine, ki so navrtane izmenično na eni in drugi strani izpustne cevi, naj bodo bistveno manjše od premera cevi, a hkrati ne premajhne. Izkušnje in izračuni kažejo, da je za difuzor smiselno navrtati izpustno cev premera 0,5 – 0,6 m z odprtinami premera 0,1 m. Njihovo število in razmak se natančneje določijo s hidravličnim izračunom izpusta (Malačič, 2001), ki smo ga pred desetletji naredili za piranski komunalni izpust, pa tudi z oceno začetnega (inicialnega) redčenja (=mešanja) izpuščene vode z morsko vodo. Podobne izračune inicialnega redčenja smo pred desetletji naredili tudi za Koprski zaliv (Malačič in Potočnik, 1998; Malačič, 1999a; Malačič, 1999b), ko so bile proučevane možnosti za podmorski izpust odplak.

V tej študiji hidravličnega izračuna za izpust oz. difuzor namenoma nismo naredili in to prihranimo za čase, ko bo jasna izvedba izpustov. Za oceno redčenja onesnažil v meteornih vodah tokrat zadostuje povprečen (po odprtinah difuzorja) pretok skozi eno od odprtin difuzorja.

V tem delu bomo opisali redčenje onesnažil v meteorni vodi (krajše: 'redčenje meteorne vode') z izpustom, z difuzorjem in brez njega. Redčenje je sestavljeno iz dveh procesov: iz začetnega, primarnega ali inicialnega redčenja in iz sekundarnega redčenja. Pri *začetnem redčenju* se voda iz odprtine cevi razširja v morje kot vzgonski curek – pri tem se sprva horizontalno širi, nato pa ob mešanju z morsko vodo zavije navzgor. V primeru zadostnega mešanja z morsko vodo postane gostota 'razredčene' izpuščene vode enaka gostoti morja v izbrani globini pod gladino. V tem primeru se izpuščena voda širi dalje s tokovi - to horizontalno razširjanje izpuščene vode je *sekundarno* redčenje izpuščene vode. Sekundarno redčenje smo obravnavali pri študiji, ki je morala biti opravljena za pridobitev obratovalnega dovoljenja za novo centralno čistilno napravo v Kopru (Malačič, 2008), kjer nimajo difuzija, ampak 'očiščeno' odplako izpuščajo v ustje reke Rižane (Bazen II Luke Koper). Če pa ima curek iz odprtine prevelik pretok, se pri dviganju in začetnem redčenju z morsko vodo ne ustavi pod gladino, ampak prispe na gladino. Za difuzorje komunalne, fekalno izrazilo

onesnažene vode tako delovanje difuzorja seveda ni zaželeno. Takrat se odplaka horizontalno širi po gladini. Za meteorne vode, ki so bistveno (vsaj tisočkrat) manj onesnažene, npr. s fekalnimi bakterijami, pa ta omejitev za učinkovitost delovanja ni tako zelo pomembna. Bistveno je, da je vsebnost opazovanih onesnažil (bakterij) pod zakonsko predpisano mejo.

Uvodni pregled objav in podatkov za določitev redčenja izpustov

Pri postavitvi prelivnega izpusta moramo poznati nekaj osnovnih podatkov v okolju, tako v morju, kot v prelivnih vodah. Poleg tega moramo vedeti, kaj zahteva zakonodaja za kopalne vode. Glede slednje se usmerimo na strožje kriterije, ki opisujejo standarde kakovosti za mikrobiološke parametre obalnega morja, kar je opisano v Uredbi o upravljanju kakovosti kopalnih voda¹, ki je usklajena z evropsko zakonodajo, vpeljana v letu 2006. Iz Preglednice 2 v Prilogi 2 omenjene Uredbe povzamemo, da je kakovost (kopalne) vode odlična, če je v analiziranih vzorcih vode izračunani 95 % percentil za intestinalne enterokoke (I.e.) manjši od 100 cfu/100 ml (cfu = 'colony forming unit'), za znane *Escherichia coli* bakterije (EC) pa mora biti ta percentil manjši od 250 cfu/100 ml vzorca. Za zadostno kakovost kopalnih voda pa je potrebno, da je vrednost 95 percentila pod 185 cfu/100 ml za I. e. in pod 500 cfu/100 ml za EC. Pri tem je treba vedeti, da so intestinalni enterokoki podskupina večje skupine bakterijskih organizmov, tj. fekalnih streptokokov, EC pa so podskupina fekalnih koliformnih bakterij (FC; V. Turk, priv. kom.), kar je tudi obrazloženo v smernicah Svetovne zdravstvene organizacije za varne rekreativne vode². To navedemo zato, ker so se v poslednjih nekaj desetletjih spreminjali (bakteriološki) standardi za kvaliteto voda in so se v preteklosti (za morske vode) spremljali predvsem FC in EC. Kljub temu bomo iz hitrega pregleda meritev v (morskem) okolju dobili vtis o številu bakterij na 100 ml vode. Kakovost voda iz različnih vidikov, tokrat usmerjena predvsem na bakterijsko onesnaženje, je bila desetletja deležna pozornosti enote MBP (Turk in Faganeli, 1990; Turk, 1996-2014; Turk in sod., 1999; Turk in sod., 2000; Turk, 2002; Turk in sod., 2002b; Turk in sod., 2002a; Turk in sod., 2004). Tokrat zgostimo spoznanja na naš ozek interes. V objavi leta 1987 (Turk, 1987) je opisana razpršenost fekalnih koliformov v površinskih vodah današnje Slovenije v letih 1980-1984, ko je za postaje '15'-'19', ki so se nahajale v Piranskem zalivu, bilo pobranih 41-42 vzorcev. Interval relativne pogostosti za FC v območju 0-100 FC/100 ml je bil 81-95 %, 5-19 % pa je vzorcev pa je vsebovalo 100 – 1000 FC/100 ml. Zelo zgovoren je pregled morske vode v okolici difuzorjev dveh vzporednih izpustov na medsebojni oddaljenosti okoli 70 m, opisan v Mozetič in sod. (1999). Omenimo le najvišje vsebnosti bakterij, ki so bile najdene na postaji '16' v 'središču' med difuzorjema v letih 1998-1999, kjer smo izvedli šest opazovanj v desetih globinah, ki so bile prilagojene 'stanju' morske vode nad difuzorjema, kar bomo v enem stavku povzeli. Iste dneve smo vršili opazovanja tudi na 'referenčni' postaji 'F', ki je bila 1,50 km oddaljena od '16' v smeri azimuta pribl. 70°, to je proti notranjosti Tržaškega zaliva 'vzdolž' slovenske obale. Na slednji pa smo pobrali vzorce le v 'standardnih' petih globinah (0

¹ <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED4701>

² https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/srwe1/en/

m, 5 m, 10 m, 15 m in 'dno' (okoli 22 m)). Poleg tega smo na vsakem terenu na obeh postajah spustili visoko ločljivo CTD sondo in smo tako pridobili vertikalne profile meritev temperature in slanosti na vsakih 2,5 cm. S to metodo smo zaznali fine vertikalne fluktuacije temperature in slanosti, ki so bile intenzivne v plasti horizontalnega razširjanja madeža odplak pod morsko gladino, v teh globinah so bile tudi najvišje vrednosti dimenzij obrnljivih vrtincev ('overturning length scale') in tako smo vzpostavili metodo za detekcijo globine razširjanja odplak (Malačič, 2005; Malačič in Mozetič, 2005). Tako smo zgostili globine pobiranja vzorcev okoli te plasti povečane intenzitete turbulence. Kar takoj zapišimo, da so bile v različnih terminih globine najvišje vsebnosti bakterij zelo različne, segale so od globin priorskem dnu (okoli 22 m), pa vse do gladine. Vendar so najvišje vrednosti FC v danem profilu vodnega stolpca tudi za dva velikostna reda presegale vrednosti v ostalih globinah. Najvišje vrednosti za FC v letih 1998-1999 med difuzorjema odplak so bile med 900-950 FC/100 ml, v globini 13 m dne 2. aprila 1998 in v globini 11 m dne 24. maja 1999. Nad in pod tema globinama so bile stokrat manjše. Na 'referenčni' postaji 'F' smo dne 24. maja 1999 v globini 15 m (11 m nismo vzorčili) zasledili 450 FC/100 ml. To je zelo zgovorno: v globini med 11 m in 15 m se je odplaka širila 1,5 km, pri čemer se je vsebnost bakterij vzdolž te razdalje komajda prepolovila! Danes vemo, da so v območju okoli postaje '16' in 'F' prisotni pridneni tokovi, ki prinašajo vodno maso v Tržaški zaliv ob slovenski obali. Ta vnos je izrazit ob burji, ali še dan po burji, seveda pa so zanj lahko prisotni drugi (gostotni) razlogi. Gre za t. im. kompenzacijski globinski tok, ki zlahka lahko v teh globinah doseže hitrost 0,1 m/s.

Omenimo še pomembne vrednosti iz dveh kasnejših študij. Ob rekonstrukciji in dograditvi čistilne naprave (ČN) Piran (Turk, 2002) je bilo ugotovljeno, da je bilo v odpadni vodi ČN okoli $1,55 \times 10^8$ FC/100 ml, pa vse do $6,7 \times 10^8$ FC/100 ml. Najvišje vrednosti FC v bližini podvodnega izpusta (blizu postaje '16') pa so bile zaznane v različnih globinah (15 m dne 8. maja 2001 in 17 m dne 8. avgusta 2001), ko je bilo 850 FC/100 ml, kar je številka, ki je podobna prej zapisanim največjim vrednostim FC (900-950 FC/100 ml). Slednje so bile ugotovljene nekaj let pred študijo leta 2002. V sodobnejši študiji (Turk in sod., 2011) je bila iz različnih vidikov (makro alge, fitoplankton) opazovana kvaliteta kopalnih voda pri gladini, seveda tudi iz bakteriološkega vidika, na katerega se bomo tukaj omejili. Za nas so pomembna spoznanja v obdobju 2004-2010 na lokacijah 'plaža Grand hotela', 'plaža hotela Vile Park', 'kopališče Hoteli Morje-Riviera (LifeClass)', 'osrednja plaža Portorož' in 'naravno kopališče Metropol Portorož'. Za ta skupek postaj je značilno, da je od 53 vzorcev 92%-98 % vzorcev imelo vrednosti fekalnih streptokokov v intervalu 0-100 cfu/100 ml, največ 6 % vzorcev je vsebovalo streptokoke v intervalu 100-1000 cfu/100 ml (osrednja plaža Portorož in kopališče Hoteli Morje – Riviera). Za fekalne koliforme (FC) so številke slabše, a podobne: 85%-92 % vzorcev je imelo vrednosti 0-100 cfu/100 ml, 2%-8 % vzorcev je vsebovalo FC v intervalu 100-1000 cfu/100 ml, zgornjo mejo 8% je doseglo kopališče Hoteli Morje – Riviera. Leto kasneje je bilo sestavljeno poročilo o obratovalnem imisijskem monitoringu izpusta čistilne naprave Piran (Forte in Turk, 2012). Okoli izpusta so našli vrednost 200 FC/100 ml 10. nov. 2011, 19. jan. 2012 pa največ 100 FC/100 ml, v različnih globinah in različnih oddaljenostih od difuzorja. Te številke so vsaj petkrat manjše od tistih 'najdenih' okoli izpusta leta 1999 in lahko pomenijo bistveno povečanje učinkovitosti delovanja ČN Piran, odkar je ta bila dograjena.

Iz predhodnih študij potegnemo zaključek, da je bila v morju ocenjena vsebnost FC velikostnega reda 100 cfu/100 ml, nikoli nismo dosegli 1000 cfu/100 ml. Na ČN je bila izmerjena vrednost velikostnega reda 10^8 cfu/100 ml, kar pomeni, da je zaradi vseh procesov, ko so se odvijali z odplako od ČN do izpusta v morje po 3,5 km ceveh in primarnega ter sekundarnega redčenja faktor redčenja okoli 10^6 . Poudarimo, da ne gre le za mehansko (primarno in sekundarno) redčenje v morju.

Ta pregled zaključimo z neobjavljeno statistiko sodobnih analiz fekalnega onesnaženja, izvedenih v letu 2019, tako v površinskih vodah plaže hotela Vila Park (vzorčil ARSO), kot sosednjega meteornega izpusta (iztok Bernardin pri obalnem parkirišču). Vzorčenje meteornega izpusta je od maja do avgusta 2019 iste dni kot ARSO izvedlo Okolje Piran. Vrednosti za EC in l.e. iz 18 vzorcev smo statistično obravnavali, tako, kot to zahteva Uredba (Priloga 3), ki je navedena na začetku tega razdelka. Tako pridobimo, da je 95-i percentil (95 % vrednosti) za EC pri vrednosti 138 cfu/100 ml za plažo Vila Park na Bernardinu, kar je pod mejo odličnosti 250 cfu/100 ml. Za intestinalne enterokoke (l.e.) je 95-i percentil 24 cfu/100 ml za Vila Park na Bernardinu, kar je tudi pod mejo odličnosti 100 cfu/100 ml. Kakovost kopalne vode je bila tam torej letos na srečo odlična. Kakšno leto prej pa seveda temu ni bilo tako.

Povsem drugače je v sosednjem izpustu Bernardin. Tam je 95-i percentil za EC pri vrednosti 16443 cfu/100 ml, vrednost 95 % vrednost za l.e. pa je 4969 cfu/100 ml. Vrednost za EC je torej skoraj 26-krat previsoka, za l.e. pa skoraj 50-krat previsoka glede na mejo za odlično kakovost morske kopalne vode. Za zadostno kakovost pa je EC 17-krat nad mejo zadostne kakovosti, l.e. pa 33-krat. Na samo srečo je 'mati narava' poskrbela za redčenje od izpusta meteornih voda do pozicije vzorčenja na plaži.

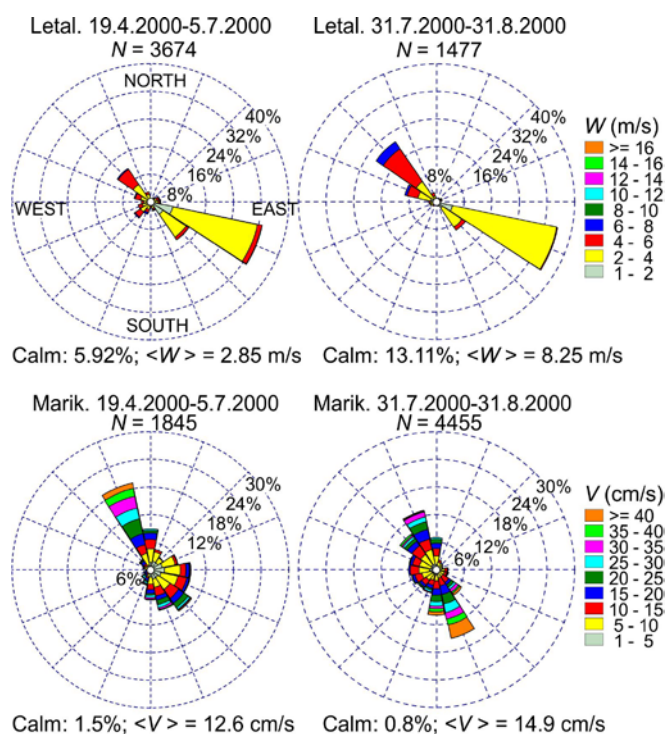
Iz teh vrednosti dobimo oceno za potrebne intervale redčenja meteorne vode, ki je fekalno onesnažena – to naj bi zanesljivo dosegli s podmorskimi izpusti meteornih voda. Lahko povzamemo, da mora biti skupni faktor redčenja meteornih voda F v naslednjih mejah $33 < F < 50$. To je cilj, ki mu je treba slediti pri projektiranju izpustov.

TOKOVI

Za oceno sekundarnega redčenja zadostuje ocena hitrosti tokov, pri čemer si namenoma zamislimo 'najhujši scenarij', po katerem tokovi tečejo v smeri najkrajše poti od izpusta/difuzorja do najbližjega kopališča. Sicer so bili pregledani vetrovi in tokovi v notranjosti Piranskega zaliva (soline, školjčiče) v študiji za Marino Portorož v Luciji (Malačič *in sod.*, 2012). Tukaj zgolj povzamemo ugotovitve meritev tokov. Edine večmesečne meritve tokov v notranjosti Piranskega zaliva so bile opravljene na območju *ribogojnice*. Te so bile v letu 2000 opravljene dvakrat, prve meritve so bile opravljene med 19.4.– 5.7, druge pa 31.7–31.8., oboje s 500 kHz akustičnim merilnikom tokov (ADP) Nortek As (Kovač *in sod.*, 2000). Tokomer je na morskem dnu globine 13 m ± 1 m zabeležil tokove na lokaciji 45° 23,226' N, 13° 34,838' E.

Izmerjeni so bili tokovi na 12 višinah nad tokomerom v celicah, ki so imele višino 1 m. Tokomer je bil postavljen na morsko dno v bližini ene od ribjih kletk. Prva celica je imela višino 2 m nad tokomerom. Tokovi so bili merjeni 10 min pred polno uro vsakih 60 min.

Najprej primerjajmo površinske tokove z vetrovi na Letališču Portorož za obdobje med 19. aprilom in 5. julijem 2000 ter obdobjem med 31. julijem in 31. avgustom.



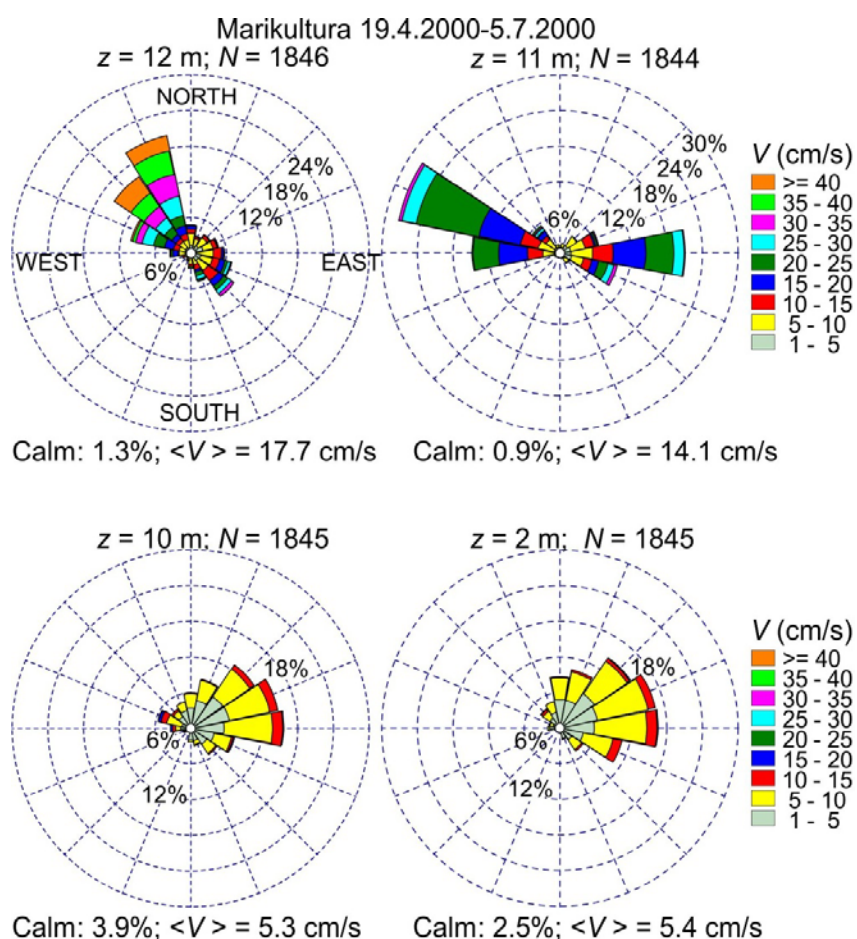
SLIKA 1. PORAZDELITEV VETROV NA LETALIŠČU PORTOROŽ (ZGORAJ) IN POVRŠINSKIH TOKOV 13 M NAD TOKOMEROM NA POSTAJI MARIKULTURA (SPODAJ). 9. APRILA - 4. JULIJA 2000 (LEVO) TER 31. JULIJA – 31. AVGUSTA 2000 (DESNO). PRI ROŽI VETROV SO PRIKAZANE SMERI IZ KATERIH PIHA VETER, PRI ROŽI TOKOV PA SMERI V KATERE TEČE TOK.

Porazdelitev vetrov v prvem obdobju meritev tokov kaže na značilno dominanten veter iz sektorja, ki je sicer bolj vzhoden (ESE) kot južen na Letališču Portorož, sektor drugih dominantnih smeri pa je sektorju najpogostejših vetrov sosednji (SE) in tudi nasproten (NW). To je sektor najpogostejših vetrov na Leri (ni prikazano), najbližji postaji Marikulture, zasukan v smeri urnega kazalca za $22,5^\circ$ od smeri dominantnega sektorja vetrov na Letališču Portorož. Vidimo skoraj idealno ujemanje smeri površinskih tokov s smermi vetrov na postaji Lera. Pri tem predpostavljamo, da je razlikovanje vetrnih rož od postaje Letališča Portorož do postaje Lera v letu 2000 podobno razlikovanju rož v obdobju oktober 2010- september 2012. Opozoriti je treba, da rišemo vetrne rože smeri vetrov *iz katerih vetrovi pihajo*, medtem ko so rože tokov risane za *smeri tokov, v katere tečejo*. Neujemanje smeri površinskih tokov in 'namišljenih vetrov' na postaji Lera leta 2000 se nahaja znotraj kota sektorjev smeri ($\approx 22,5^\circ$).

Ne smemo pozabiti, da gre za popolnoma neodvisne meritve tokov in vetrov s povsem različnimi instrumenti. V primeru drugega eksperimenta meritev tokov avgusta 2000 velja

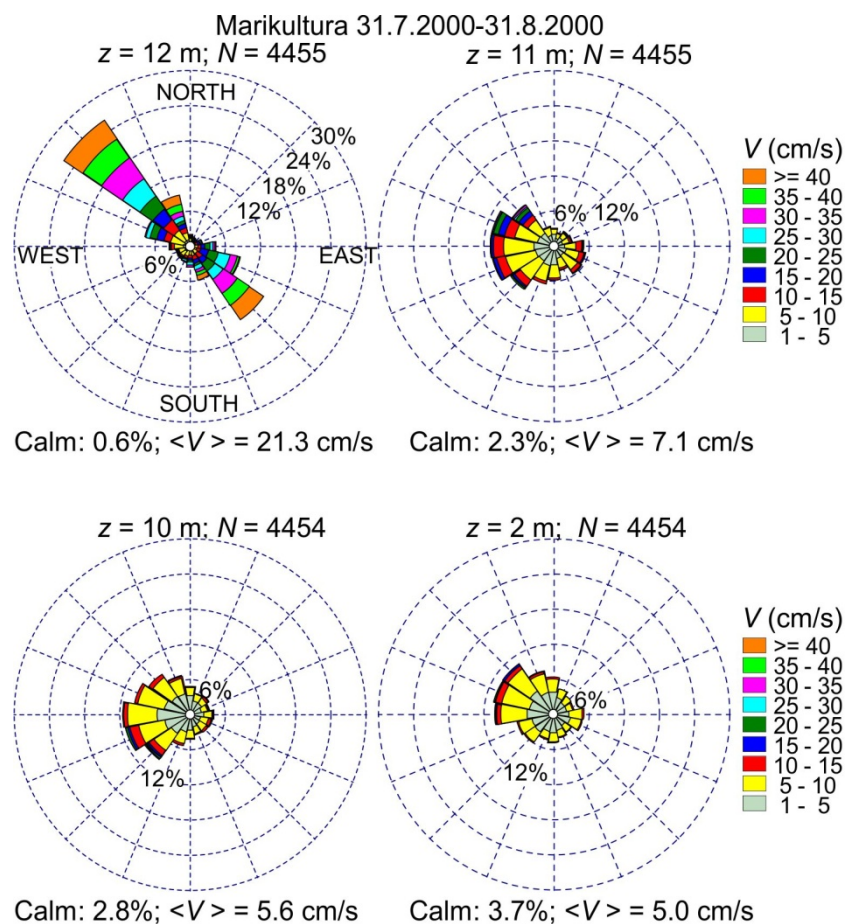
podoben zaključek. V tem primeru sicer vidimo, da je sektor drugih najpogostejših smeri vetrov na Letališču Portorož nasproten sektorju dominantnih smeri, vendar ima ta nasproten sektor (NW) tudi večji delež bolj izrazitih vetrov (rdeča barva). Podobno velja za smeri tokov. Ne gre pozabiti, da so podatki tokov obremenjeni tudi s poldnevnimi in dnevnimi plimskimi elipsami (Malačič in Viezzoli, 2000), ki razmažejo tokove po roži smeri.

Oglejmo si še rože tokov v globinah pod površino (Slika 2). Pregled meritev za vsak meter globine je pokazal, da so vidne izrazite spremembe smeri v prvih metrih pod gladino, za tokove merjene v višinah med 2 m in 10 m nad tokomerom, pa skorajda ni sprememb – v tem območju se vodna masa pomika kot eno vodno telo, tako v prvem, kot v drugem intervalu meritev. meritve temperatur in slanosti so razkrile, da je bila površinska mešana plast prisotna nekako do globin 3m – 4,5 m, kar ustreza izrazitim vertikalnim spremembam tokov v površinski plasti. V višini 10 m nad tokomerom pa imamo izrazito spremembo porazdelitve toka po smereh. Dominantne smeri toka so širše razpršene okoli vzhodne smeri (=tok proti vzhodu, v notranjost zaliva) in ta porazdelitev je prisotna vse do višine nekaj m nad dnom, s tipičnimi povprečnimi jakostmi tokov okoli 5 cm/s.



SLIKA 2. ROŽE TOKOV V VIŠINAH 12 M (ZGORAJ LEVO), 11 M (ZGORAJ DESNO), 10 M (SPODAJ LEVO) IN 2 M (SPODAJ DESNO) NAD TOKOMEROM V OBDOBJU 19. APRIL – 4. JULIJ 2000.

Podobno sliko v površinskih plasteh vidimo v obdobju drugih meritev tokov avgusta 2000 na Sliki 3. Ponovno je pri gladini dominantna smer tokov v višini 12 m zasukana glede na dominantno smer tokov v višini 13 m (Slika 3, spodaj desno) za $22,5^\circ$ v nasprotni smeri urnega kazalca (Slika 3 zgoraj levo). Vendar pa je tokrat spremenjen značaj smeri tokov prisoten že na višini 11 m nad tokomerom, s prevladujočimi smermi, ki so razpršene v širšem območju okoli smeri proti zahodu. To velja tudi za vse večje globine, do poslednje, ki se nahaja na višini 2 m nad dnom.

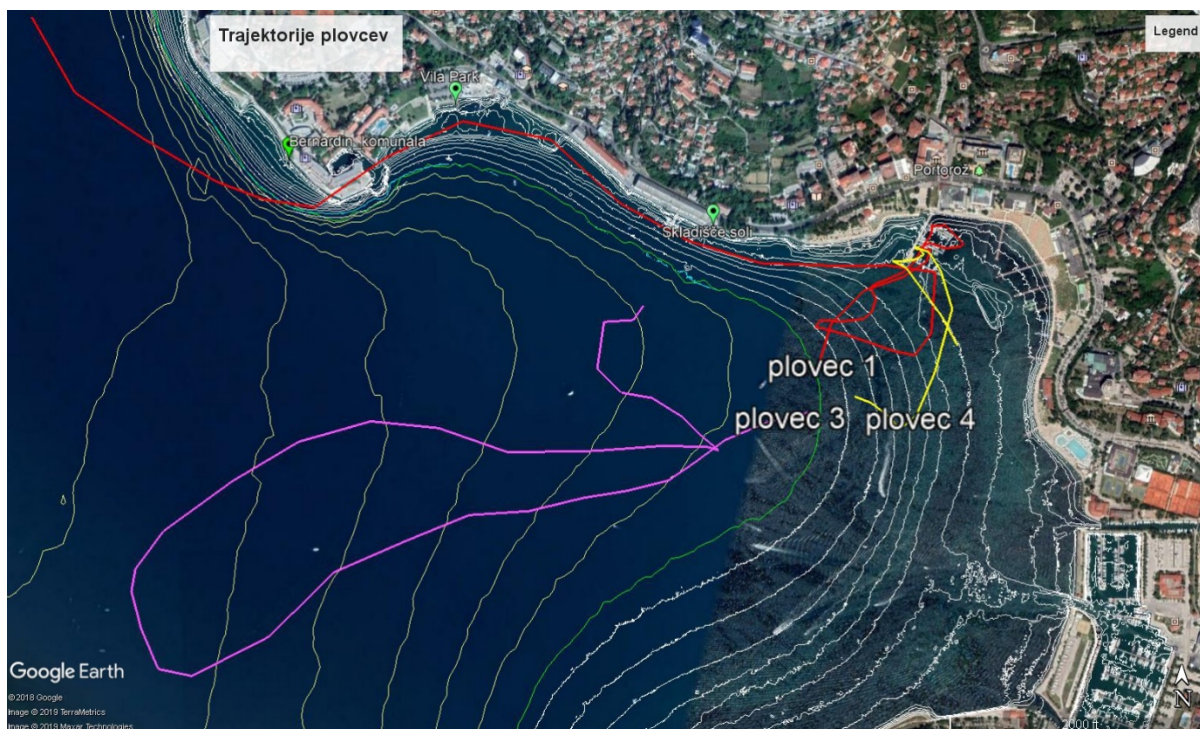


SLIKA 3. PODOBNO KOT NA SLIKI 2, LE DA JE TOKRAT INTERVAL MERITEV 31. JULIJ – 31. AVGUST 2000.

Povprečna jakost površinskih tokov v spomladansko poletnem obdobju je med 12 in 21 cm/s, tokov v višinah manjših od 10 m nad tokomerom (\approx dnom) pa je med 5 in 6 cm/s. Porazdelitev jakosti tokov po sektorjih smeri v različnih globinah med 10 m in 2 m višine nad tokomerom na dnu je pokazala dokaj izotropno porazdelitev jakosti po smereh, ki se je nahajala v intervalu med 2 in 5 cm/s (Forte, 2001).

Seveda je lokacija marikulture 'daleč' v notranjosti Piranskega zaliva in meritve na tisti lokaciji ne morejo biti merodajne za (smeri) tokov v območju med skladiščem soli in Bernardinom. Vendar iz meritev vidimo, da je hitrost tokov velikosti 0,1 m/s, v globinah pa je ustrežnejša ocena 0,05 m/s.

Na koncu dodajmo je spoznanja sodobnejših meritev, tokrat meritve gibanja površinskih plovcev. V zimskem obdobju smo 7. marca 2013 spustili štiri plovce, opremljene z GPS sprejemnikom in GPRS oddajnikom mobilne telefonije. Žal je bila okvarjena elektronika v enem od plovcev in zato imamo podatke treh plovcev. Lega plovcev je bila zapisana in poslana na spletni strežnik vsakih 30 min v trajanju 5 min. Plovci so bili spuščeni pribl. 350 m od konice glavnega pomola v Portorožu v smeri 210° in 460 m od konice pomola plaže hotela Metropol, v smeri 285°.



SLIKA 4. POTOVANJA PLOVCEV S PRIČETKOM 7. MARCA 2013. PLOVEC 1 (RDEČA ČRTA) JE BIL SPUŠČEN OKOLI 7:30 URE (UTC), PLOVEC 3 (VIJOLIČNA ČRTA) OKOLI 19. URE, PLOVEC 4 (RUMENA ČRTA) PA DNE 8. MARCA 2013 OKOLI 1:40 PONOČI.

Plovec 1 je potoval več kot en dan (28,6 ur) s povprečno hitrostjo 0,04 m/s in največjo hitrostjo 0,11 m/s. Plovec 3 je potoval 17,3 ure s povprečno hitrostjo 0,06 m/s in maksimalno 0,12 m/s, plovec 4 pa zgolj 10,7 ur s povprečno hitrostjo 0,02 m/s in maksimalno hitrostjo 0,08 m/s. Poslednji se je zadrževal okoli glavnega pomola v Portorožu. Od vseh trajektorij je videti najpomembnejša trajektorija plovca 1, saj je ta prepotoval 3,9 km vzdolž obale. Podobno dolžino poti je opravil tudi plovec 3, vendar 11 ur krajšem času, njegova pot vsebuje zanko – plovec se je med polnočjo in eno uro obrnil in potoval nazaj proti izhodiščni legi. Plovec 3 je namreč potoval v ritmu plimovanja, meritve tlaka na morskem dnu na boji Vidi (in seveda meritve mareografske postaje v Kopru) pokažejo, da je 7. marca 2013 bila prisotna plima med 12. in 13. uro, gladina je ostro upadala, za 0,7 m do polnoči oz. ene ure 8. marca 2013. To upadanje proti oseki je 'vleklo plovec 3 ven iz zaliva do polnoči, ko je pričela gladina ponovno rasti in je plovec potoval nazaj proti izhodiščni legi. Zanimivo je, da potovanji plovcev 1 in 4 nista tako izrazito modulirani s plimovanjem. Plovec

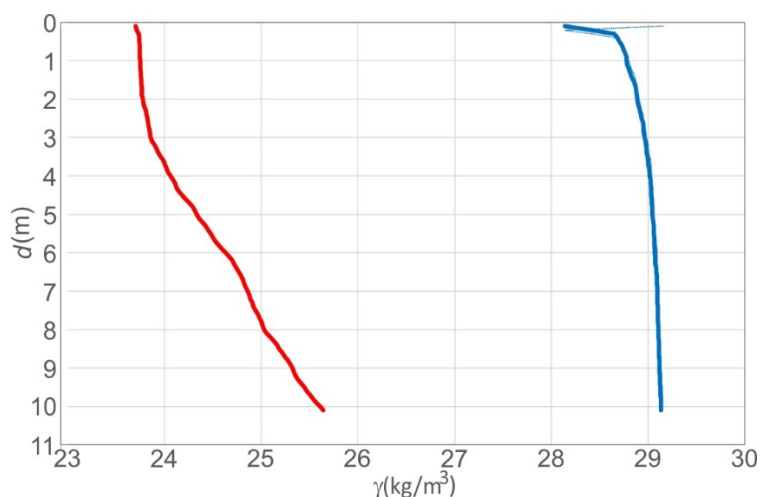
1 je očitno odvržen obrežni 'topografski kontroli' in je pretežno sledil izobati globine 2 m. Tega dne je bilo megleno in del dneva (pozno popoldan-ponoči) tudi zmerno vetrovno, pihal je jugozahodnik 5-7 m/s, ki je 'dodatno potiskal' plovce k severni obali.

Lahko potegnemo zaključek, da so tega dne, med 7. in 8. marcem 2013 bile povprečne hitrosti plovcev med 0,02 m/s in 0,08 m/s, največja hitrost ni presegla 0,12 m/s.

Tako lahko iz stacionarnih meritev tokov v ribogojnici in enodnevnih opazovanj plovec ocenimo, da je hitrost toka 0,05 m/s kar 'primerna ocena' in da se 0,1 m/s pojavi redkeje. Seveda pa so lahko v izjemnih vetrnih pogojih hitrosti višje. Ta ocena je pomembna za izračun sekundarnega redčenja izpuščene vode v morje, ki jo proč od izpusta (difuzorja) poganja morski tok.

Gostota

Pri začetnem redčenju izpuščene vode v morje je eden od ključnih parametrov morskega okolja, ki vplivajo na redčenje, vertikalna porazdelitev gostote. Ta je odvisna od vertikalne porazdelitve temperature in slanosti. Za oceno 'stratifikacije' smo izbrali merilno postajo 'MA' v centru Piranskega zaliva, kjer se vršijo enkrat mesečno opazovanja in kjer spustimo mikrostrukturno CTD sondo, s katero opravimo vertikalni profil temperature, slanosti, in drugih količin, izmerjenih s sondo. Vertikalni profili so v podatkovni bazi vertikalno povprečeni v 0,1 m debele plasti vodnega stolpca. Od leta 2007 do 2019 smo naredili povprečje vseh meritev, ki so bile opravljene v obdobju januar-marec (število meritev 26) in v obdobju junij-avgust (število meritev 26-30). Prvo pomeni 'zimsko' situacijo, druga pa 'poletno'. Za izračun začetnega redčenja pri izpustu potrebujemo zgolj vertikalne profile gostote.

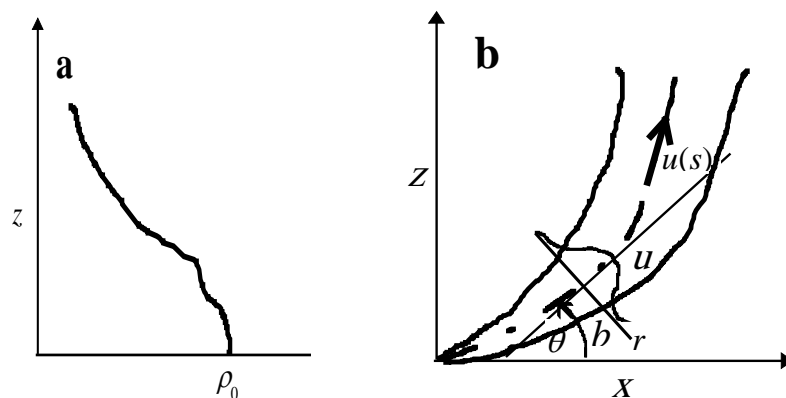


SLIKA 5. VERTIKALNA PORAZDELITEV GOSTOTE V POLETNEM OBDOBJU (RDEČE) IN V ZIMSKEM OBDOBJU (MODRO). KOLIČINA γ POMENI PRESEŽEK GOSTOTE MORSKE VODE NAD VREDNOSTJO 1000 KG/M³.

Izpisali smo zgolj vrednosti do globine 10,1 m, saj smiselno predvidevamo, da bo konica izpustov v globini 10 m.

Metoda izračuna začetnega redčenja

Metoda je bila pred desetletji uporabljena na izpustu komunalne vode ČN Piran (Malačič, 1999a; Malačič, 2001; Malačič, 2004). Tukaj jo stenografsko povzamemo



SLIKA 6. A) SKICA VERTIKALNEGA PROFILA GOSTOTE VODNEGA STOLPA ρ_A , KI IMA PRI DIFUZORJU ($z = 0$) VREDNOST ρ_0 . B) SKICA VZGONSKEGA CURKA, KI IZHAJA IZ ODPRTINE V IZHODIŠČU KOORDINATNEGA SISTEMA. POLMER CURKA, PRI KATEREM UPADE HITROST (GAUSSOV PROFIL) NA VREDNOST $1/e$, JE ENAK b .

Pri razvoju numeričnega modela Splinrun smo sledili objavam s to vsebino (Fischer *in sod.*, 1979; Featherstone, 1984). Zapisali smo namreč ohranitev (spremembo) pretoka gibalne količine, pretoka volumna in mase prečne rezine vzgonskega curka, za katerega smiselno predpostavimo Gaussov prečni profil za hitrost curka in za gostotno razliko med vodo curka in morjem. Pri tem je privzeto eksperimentalno ugotovljeno razmerje med polmeroma curka gostote in hitrosti λ ($=1.2$). Ohranitve omenjenih pretokov se zapišejo s štirimi enačbami za razvoj hitrosti sredice rezine vzgonskega curka u , polmera rezine vzgonskega curka b , naklona rezine θ do vodoravne osi in gostotne razlike $\Delta\rho$ med sredico rezine in morjem, vse vzdolž trajektorije s potovanja rezine.

$$\frac{du}{ds} = \frac{2g\lambda^2\Delta\rho}{\rho_0 u} \sin\theta - \frac{2\alpha u}{b}, \quad (1)$$

$$\frac{db}{ds} = 2\alpha - \frac{g\lambda^2\Delta\rho b}{\rho_0 u^2} \sin\theta, \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{2g\lambda^2\Delta\rho}{\rho_0 u^2} \cos\theta, \quad (3)$$

$$\frac{d\Delta\rho}{ds} = \frac{(1+\lambda^2)}{\lambda^2} \frac{d\rho_a}{dz} \sin\theta - \frac{2\alpha\Delta\rho}{b}, \quad (4)$$

Izpeljave so zapisane v poročilu Malačič (1999a). Vse štiri sklopljene nelinearne diferencialne enačbe smo reševali s pomočjo natančne numerične metode Runge-Kutta s prilagodljivim korakom Δs , s katerim smo držali napako metode pod majhno vrednostjo. Dodani sta še spremljajoči enačbi za koordinati trajektorije vzgonskega curka in faktor redčenja S :

$$\frac{dx}{ds} = \cos\theta; \quad \frac{dz}{ds} = \sin\theta, \quad (5)$$

$$S(s) = \frac{C_0}{C(s)} = \frac{4\lambda^2 u(s) b^2(s)}{(1+\lambda^2) u_0 D_0^2}. \quad (6)$$

pri čemer je D_0 je premer odprtine, u_0 hitrost sredice curka blizu odprtine, C_0 pa je koncentracija onesnažila blizu odprtine izpusta/difuzorja (njena vrednost ni pomembna), na oddaljenosti pribl. 6 premerov odprtine (kot tudi u_0), kjer se prične območje 'vzpostavljenega toka curka' (ZEF = 'zone of established flow'). Znotraj te razdalje pa je hitrost sredice praktično neodvisna od oddaljenosti od odprtine. Končno redčenje S je odvisno od razmerja med končno koncentracijo C in začetno na koncu faze začetnega redčenja – potovanja curka v vzgonsko nevtralno višino, ali pa vse do gladine.

Metoda izračuna sekundarnega redčenja

Pri analitični oceni redčenja odplak se naslonimo na preverjen in zelo pogosto uporabljen izraz za difuzijsko širjenje odplak prečno na os raztezanja madeža zaradi samega toka. Gre seveda za turbulentno difuzijo. oz. reševanje disperzijske enačbe (Fischer *in sod.*, 1979; Brooks, 1960) z advekcijo v vzdolžni smeri in difuzijo v prečni smeri:

$$U \frac{\partial C}{\partial x} = A_c \left(\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

kjer je U stalna hitrost toka v smeri x , A_c koeficient vrtnične difuzije poljubne konzervativne snovi (onesnažila), ki ima koncentracijo C . V primeru koncentracije bakterij bi na levi strani zgornje enačbe imeli dodan člen $k \cdot C$, kjer je k faktor upadanja bakterij ($k=2,3026/T_{90} = 0,65789 /h$). Koeficient vrtnične difuzije se izraža s koeficientom vrtnične viskoznosti: $A_c = A_M/Pr$, pri čemer je Pr Prandtlovo število. Slednje se v praksi običajno jemlje kot število velikostnega reda 1. V numeričnih modelih, ki temeljijo na sigma-koordinatnem sistemu se običajno vzame $Pr > 1$ v izogib preveliki horizontalni difuziji, npr. 5–10. To pa ne pomeni, da v grobem še vedno velja, da je $A_c \sim A_M$, čemur pravimo Reynoldsova analogija (Kundu, 1990). Zavedajmo se, da je konstanta A_c prostorsko odvisna (od x -koordinate). Koncentracija snovi bo pri stalnem in neprekinjenem izvoru onesnažila največja na osi x pahljačastega širjenja, označimo jo z C_{max} . Rešitev zgornje enačbe je:

$$C_{\max}(x)/C_0 = \operatorname{erf} \sqrt{\frac{1,5}{(1 + \beta 2x/3b)^3 - 1}} \quad (2)$$

kjer je parameter $\beta = 12 A_c / (U^* b)$, b pa je začetna širina območja onesnažila, pravokotna na os širjenja x . Večja začetna širina pomeni večjo maso onesnažila in tudi večjo koncentracijo na osi širjenja, tako da smo z večjo širino na 'varni strani' ocene vpliva odpadne vode na interesno območje (ocenili bomo večji vpliv). C_0 je začetna koncentracija onesnažila po segmentu dolžine b , erf pa je statistična funkcija:

$$\operatorname{erf} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} du \quad (3)$$

Pri zgornji rešitvi je sicer upoštevano, da A_c raste po 4/3 zakonu z oddaljenostjo od osi širjenja: $A_c (10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}) = \alpha L^{4/3}$, kjer je L v enotah 10^{-2} m (oz. v cm). Tedaj je vrednost koeficienta $\alpha = 0,01$ (Fischer *in sod.*, 1979; Brooks, 1960). Za značilno oddaljenost L od osi razširjanja x se privzame, da je njen kvadrat sorazmeren varianci prečne porazdelitve:

$$L^2 = 12 \frac{\int_{-\infty}^{\infty} y^2 C(x, y) dy}{\int_{-\infty}^{\infty} C(x, y) dy} \quad (4)$$

kar pri predpostavki Gaussove (normalne) porazdelitve onesnažila prečno na osrednjo os pomeni 99,5 % pokrivanje mase onesnažila. Pri reševanju diferencialne enačbe (7) se vpelje nova spremenljivka x' :

$$dx' = \frac{A_c}{A_0} = \left(\frac{L}{b}\right)^{4/3} dx, \quad (5)$$

kjer je A_0 začetna vrednost vrtnične (turbulentne) difuzije pri izvoru polutanta dolžine b . Enačba (7) z variabilnim koeficientom $A_c = A_c(x)$ tako postane diferencialna enačba s konstantnim koeficientom

$$\frac{\partial C}{\partial t'} = A_0 \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (6)$$

in pokaže se (Brooks, 1960) z vpeljavo pomožne spremenljivke $\eta = y/(4A_0 t')^{1/2}$, da je njena rešitev za segment izvora dolžine b , ki je pravokoten na os x potovanja toka hitrosti U enaka:

$$C(x, y) = \frac{C_0}{2\sqrt{\pi A_0 t'}} \int_{-b/2}^{b/2} \exp\left[-\frac{(y-v)^2}{4A_0 t'}\right] dv \quad (7)$$

kjer je čas $t' = x'/U$, seveda velja tudi $t = x/U$. Imenovalc v eksponentu integranda v (13) $A_0 t'$ se izrazi v odvisnosti od x-koordinate tako, da se v enačbo (10) vstavi rešitev (13) in v algebraično dobljeni enačbi (zahtevnejša izpeljava) izrazimo x' z x . Tako postane:

$$A_0 t' = \frac{b^2}{24} \left[\left(1 + \beta \frac{2x}{3b} \right)^3 - 1 \right]; \quad \beta = \frac{12A_0}{Ub}. \quad (8)$$

Ob upoštevanju (14) v rešitvi (13) se pridobi koncentracija na osi razširjanja C_{\max} po (8) z vstavitvijo $y = 0$ v (13) in ustrezno transformacijo spremenljivk pod integralom. Zapišimo še kako raste značilna širina z oddaljenostjo od izvora:

$$L = b \left(1 + \beta \frac{2x}{3b} \right)^{3/2}, \quad (9)$$

V primeru nekonzervativnih polutantov (bakterij) pride na desni strani rešitve (13) pred integralom še faktor $\exp(-kt)$, kjer je $k = 2,3026/T_{90}$. Vendar tega upadanja bakterij zaradi izpostavljenosti UV svetlobi ne bomo upoštevali. To zato, da bomo na 'varni strani' pri načrtovanju izpustov, saj do razlitja onesnažene vode lahko pride tudi ponoči, ko ni svetlobe.

Rezultati

Začetno redčenje

Pri začetnem redčenju smo obravnavali tako zimsko kot poletno stanje gostote morja, izvedli pa smo tudi izračune za izpust, ki se konča z difuzorjem z 10-imi odprtinami.

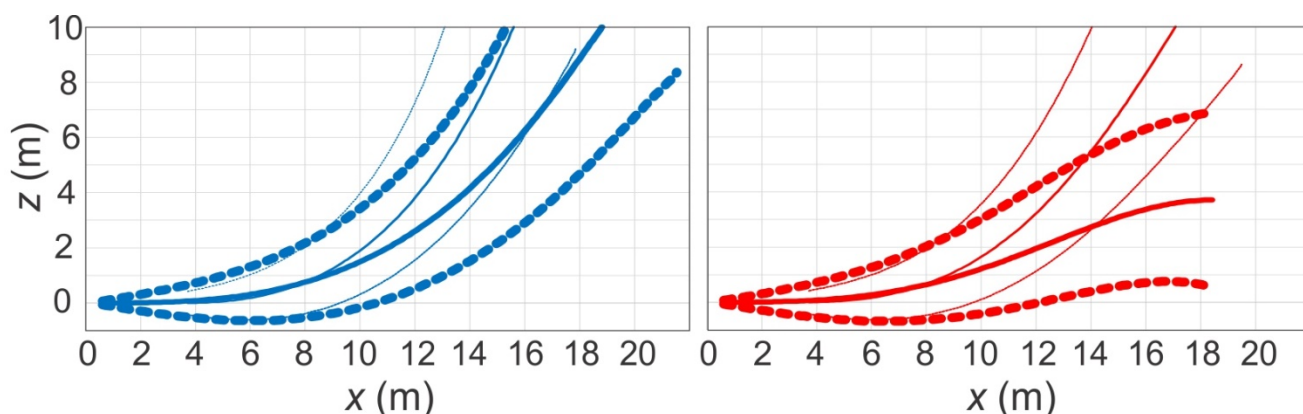
TABELA 1. REZULTATI NUMERIČNIH SIMULACIJ INICIALNEGA REDČENJA. S JE FAKTOR REDČENJA, Z JE VIŠINA, DO KATERE JE PRISPELA IZPUŠČENA VODA V MORJU, U JE HITROST SREDICE REZINE VZGONSKEGA CURKA, R POLMER REZINE VZGONSKEGA CURKA, NA KATEREM HITROST UPADE NA $1/E (=0,37)$ HITROSTI V SREDICI, θ PA NAKLONSKI KOT REZINE CURKA. PREDPOSTAVLJEN JE PRETOK 1000 L/S SKOZI CEV IZPUSTA IN GLOBINA IZPUSTA 10,1 M.

Difuzor, 10 odprtin $d = 0,1$ m						
LEGA	Letni čas	$\Delta\rho(\text{kg/m}^3)$	S	$Z(\text{m})$	$U(\text{m/s})$	$R(\text{m})$
PRI ODPRTINI	poletje	22,7	1.1	0	12,7	0,07
	zima	25,8				
NA VRHU	poletje	0,0	33,5	2,1	0,5	2,0
NA VRHU	zima	0,0	63,9	9,5	0,4	3,0
Brez difuzorja, cev $d = 0,6$ m						
PRI ODPRTINI	poletje	22,7	1.1	0	3,5	0,42
	zima	25,8				
NA VRHU	poletje	0,0	10,3	10,1	0,7	2,8
NA VRHU	zima	0,0	10,3	10,1	1,0	2,4

Simulacije so bile izvedene s programom Splinrun, ki je bil umerjen z analitičnimi rešitvami (Malačič, 2001), opisanimi v (Fischer *in sod.*, 1979) in v UNEP priročniku za podmorske izpuste (UNEP, 1995) za linearno stratificirano morje. Za sezonska vertikalna profila gostote poleti in pozimi simulacije sporočajo sledeče:

- Brez difuzorja izpuščene vode ni mogoče obdržati pod gladino.
- Brez difuzorja je faktor redčenja pričakovano manjši kot pri difuzorju, neodvisen je od letnega časa (stratifikacije gostote morske vode) in ima vrednost okoli 10.
- Z difuzorjem z 10-imi odprtinami premera 0,1 m je faktor redčenja vsaj med 33 in 64
- Z difuzorjem celo v zimskem obdobju lahko obdržimo izpuščeno vodo pod gladino za 1-2 m (višina 9,5 m).
- Vzgonski curek ima na vrhu, v vzgonsko nevtralni plasti, značilen polmer ≤ 3 m.

Spodnja slika prikazuje štiri situacije za inicialno redčenje, za poletje (rdeče) in zimo (modro) z difuzorjem (debela črta) in brez njega (tanki črta). Vidna je podobnost krivulj s tankimi črtami za zimski in poletni letni čas. Vidimo tudi, da je horizontalno raztezanje vzgonskega curka v grobem dvakrat izrazitejše (20 m) od vertikalnega raztezanja v primeru izpusta brez difuzorjev in v primeru izpusta z difuzorjem v zimski stratifikaciji morske vode.



SLIKA 7. ZAČETNO REDČENJE PRI IZPUSTU. DEBELE ČRTE PRIKAŽUJEJO RAZŠIRJANJE VZGONSKEGA CURKA IZ DIFUZORSKE ODPRTINE, TANKE ČRTE PA IZ IZPUSTNE CEVI BREZ DIFUZORJA. MODRE ČRTE PRIKAŽUJEJO RAZŠIRJANJE CURKA V ZIMSKEM ČASU, RDEČE PA V POLETNEM ČASU. ČRTKANE ČRTE PRIKAŽUJEJO 'OVOJNICO' VZGONSKEGA CURKA, NA KATERI JE HITROST CURKA $1/E (=0,37)$ HITROSTI V SREDICI.

Sekundarno redčenje

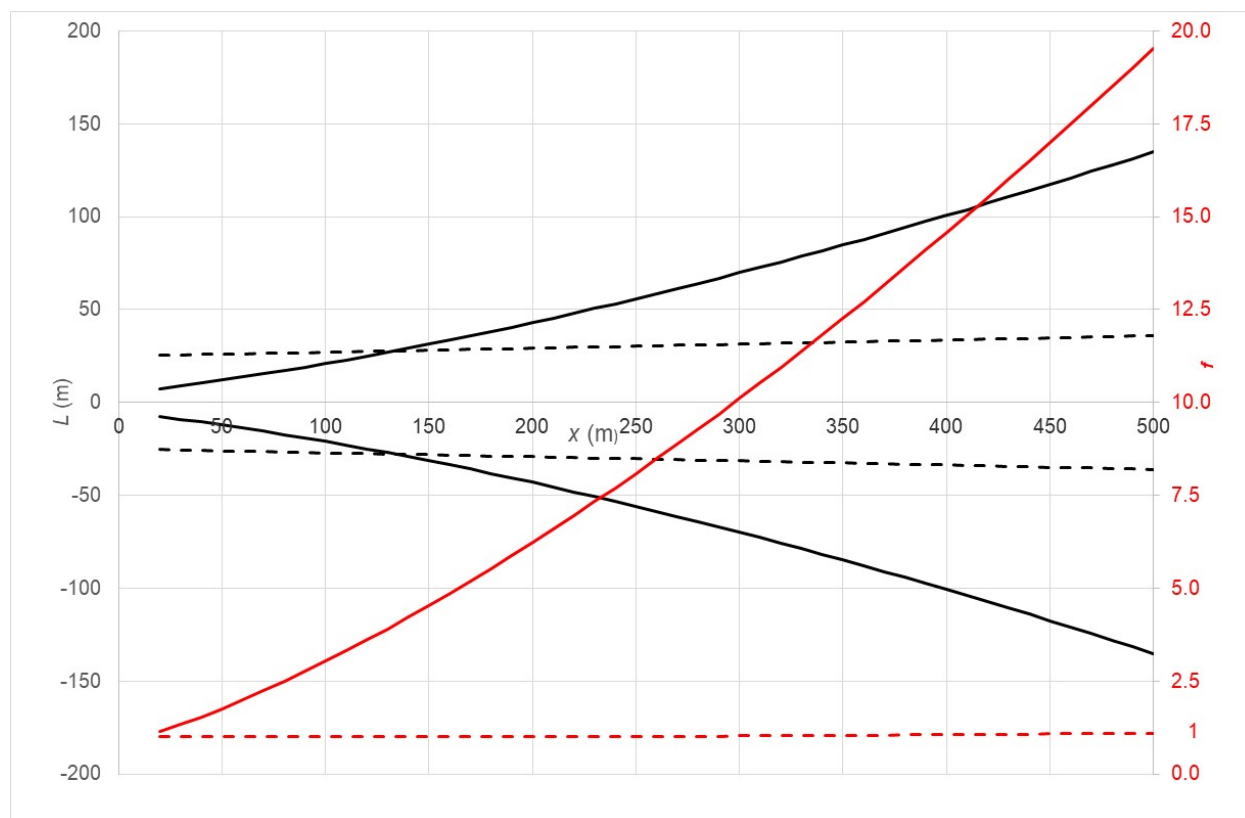
To redčenje je odvisno od tokov in oddaljenosti od madeža, ki se tvori ob difuzorjih. Tokovi madež raztegnejo vzdolž smeri tokov, a hkrati se tudi večja horizontalna širina madeža zaradi vrtnične horizontalne difuzije, katere koeficient A_0 raste s prečno dimenzijo B madeža kot $B^{4/3}$. Rezultate zberemo v tabeli:

TABELA 2. REZULTATI ANALITIČNIH SIMULACIJ SEKUNDARNEGA REDČENJA MADEŽA PRI RAZLIČNIH HITROSTIH TOKA U , ZAČETNI PREČNI DIMENZIJI MADEŽA B IN ODDALJENOSTI x OD ZAČETKA MADEŽA. f JE FAKTOR REDČENJA, C_{max} JE KONCENTRACIJA SREDICE NA ODDALJENOSTI x OD ZAČETKA MADEŽA, C_0 JE KONCENTRACIJA NA ZAČETKU MADEŽA. A_0 JE ZAČETNA VREDNOST VRTINČNE DIFUZIJE, KI SLEDI $4/3$ ZAKONU RASTI S PREČNO DIMENZIJO MADEŽA.

U (m/s)	A_0 (m ² /s)	b (m)	x (m)	C_{max}/C_0 (%)	f
0.05	0.010	10	150	22.0	4.5
0.10	0.010	10	150	42.3	2.4
0.50	0.010	10	150	93.1	1.1
0.05	0.010	10	250	12.4	8.1
0.10	0.010	10	250	26.6	3.8
0.50	0.010	10	250	81.0	1.2
0.05	0.025	20	150	34.7	2.9
0.10	0.025	20	150	59.0	1.7
0.50	0.025	20	150	98.3	1.0
0.05	0.025	20	250	20.9	4.8
0.10	0.025	20	250	40.6	2.5
0.50	0.025	20	250	92.3	1.1
0.05	0.043	30	150	43.9	2.3
0.10	0.043	30	150	69.1	1.4
0.50	0.043	30	150	99.5	1.0
0.05	0.043	30	250	27.8	3.6
0.10	0.043	30	250	50.4	2.0
0.50	0.043	30	250	96.3	1.0

Sekundarno redčenje je tem manjše, večja ko je hitrost toka. Pri hitrosti toka 0,5 m/s ('nemogoče') je redčenje zgolj malo večje od 1 tudi na oddaljenosti 250 m od začetka madeža. Sekundarno redčenje tudi upada s prečno začetno dimenzijo madeža b (10 m, 20 m, ali 30 m). Iz polmera vzgonskih curkov začetnega redčenja sklepamo, da bo dolžina difuzorja za 10 odprtin med 20 in 30 m, tako, da so curki 'na vrhu' nekako v dotikanju, da niso preveč razmaknjeni med seboj, a da se hkrati tudi preveč ne prekrivajo. Če odmislimo hitrosti toka 0,5 m/s in se zavedamo, da je tudi hitrost 0,1 m/s nekako redka, smo na varni strani, če opazujemo le redčenja s hitrostjo toka 0,1 m/s. Pri 150 m oddaljenosti od začetnega madeža, kar po domače pomeni 150 m oddaljenosti od izpusta/difuzorja, je faktor sekundarnega redčenja za začetne širine madežev (dolžine difuzorjev) 20 m–30 m: $1,4 < f < 1,7$, pri čemer je manjša vrednost pri 30 m začetni širini madeža. Za oddaljenosti 250 m od izpusta (začetka madeža) pa je $2,0 < f < 2,5$ pri hitrosti toka 0,1 m/s. Pri 'običajnih hitrostih toka 0,05 m/s je sekundarno redčenje na 150 m oddaljenosti za začetno širino madeža 20 m–30 m: $2,3 < f < 2,9$, pri 250 m oddaljenosti pa je v intervalu: $3,6 < f < 4,8$.

Lahko zaključimo, da je v oddaljenosti 250 m pričakovati faktor sekundarnega redčenja $f \geq 2$. Spodnja slika prikazuje dve ekstremni situaciji sekundarnega redčenja.



SLIKA 8. ODVISNOST ŠIRINE MADEŽA (LEVA OS, ČRNE ČRTE) IN FAKTORJA REDČENJA (DESNA OS, RDEČE ČRTE) OD ODDALJENOSTI x OD ZAČETKA MADEŽA. POLNE ČRTE PREDSTAVLJAJO RAZŠIRJANJE IN REDČENJE PRI ZAČETNI ŠIRINI 10 M IN HITROSTI TOKA 0,05 M/S, ČRTKANE ČRTE PA ŠIRJENJE IN REDČENJE PRI HITROSTI TOKA 0,5 M/S IN ZAČETNI DIMENZIJ 50 M.

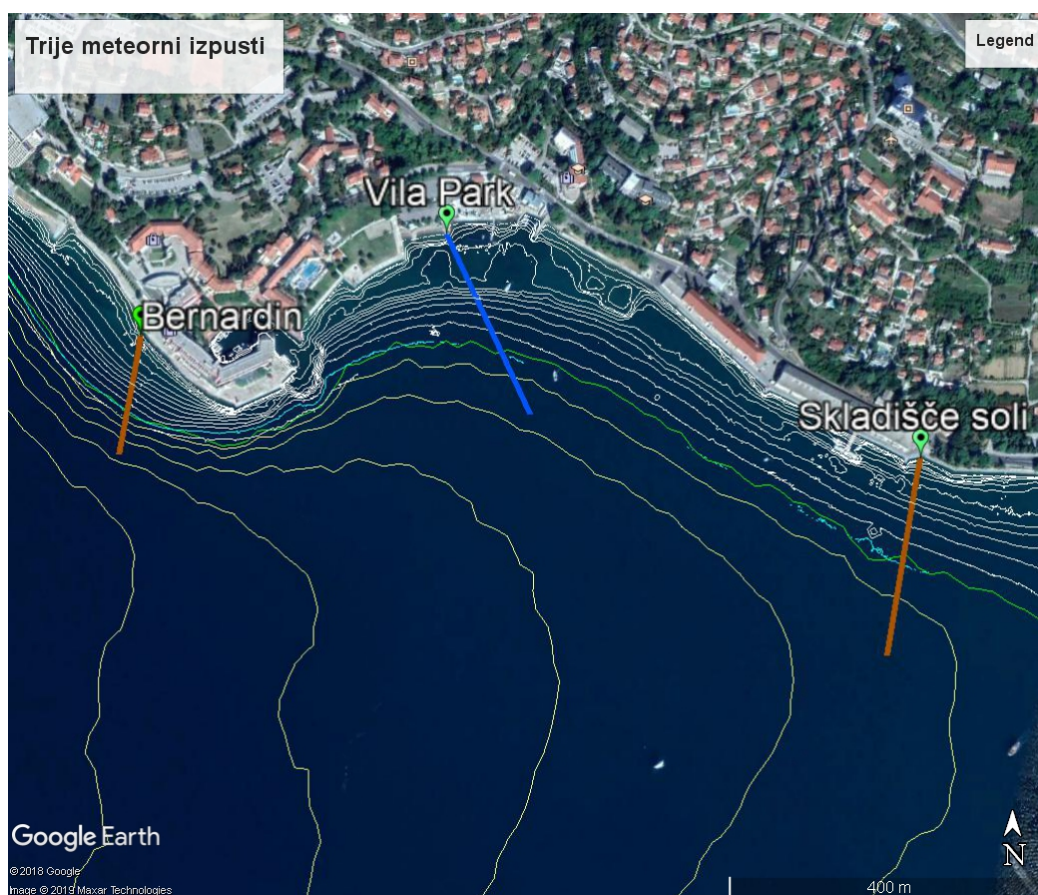
Predlog izpustov

Iz numeričnih simulacij za začetno in sekundarno redčenje povzamemo, da je:

- Faktor inicialnega redčenja z difuzorjem z desetimi odprtinami v globini 10 m: $33 < S < 64$
- Faktor sekundarnega redčenja pri relativno visoki hitrosti 0,1 m/s in dolžini difuzorja med 20 in 30 m ter oddaljenosti 250 m; $2 < f < 2,5$.
- Skupno redčenje izpuščene vode na oddaljenosti 250 m od difuzorja je produkt redčenj
 $F = S \times f$. Ob upoštevanju intervalov za S in f je skupno redčenje: $66 < F < 160$.

V uvodnem pregledu objav in podatkov smo zapisali, da mora biti $33 < F < 50$, če naj bi s podmorskimi izpusti zanesljivo dovolj razredčili onesnaženo meteorno vodo, preden ta pride do kopališč. Spodnja meja skupnega redčenja 66 je dovolj nad zahtevano zgornjo mejo 50, kar pomeni, da smo idejno dovolj dobro načrtovali izpuste – seveda pri pogoju da je razdalja med izpustom oz. difuzorjem izpusta in kopališčem vsaj 250 m.

Na osnovi teh rezultatov smo naredili sliko idejnega predloga izpustov:



SLIKA 9. POZICIJE IN USMERITVE TREH IZPUSTOV. IZOBATE SO NA VSAK METER GLOBINE, 10 M IZOBATA JE ZELENA.

To opišemo tudi s tabelo podatkov.

TABELA 3. TABELA POZICIJ ZAČETKA IZPUSTOV, DOLŽIN IN SMERI IZPUSTOV OD NJIHOVEGA ZAČETKA

Ime izpusta	Geo. dolžina (°)	Geo. širina (°)	Dolžina cevi (m)	Smer/azimut (°)
Bernardin	13,571455	45,514583	150	190
Vila Park	13,576378	45,515738	250	155
Skladišče soli	13,584000	45,513196	250	190

S predloženo osnovo izpustov dosežemo, da so oddaljenosti izpustov od kopališč 250 m, oddaljenosti med konicami izpustov pa 500 m, kar zadostuje, da ne pride do zaznavnega 'prekrivanja' onesnaženih voda. Hkrati moramo poudariti, da je potrebno izpuste na koncih 'navrtati', s pribl. Desetimi odprtinami, da bodo difuzorji delovali. Seveda difuzorji ne morejo biti zgolj položeni na morsko dno, ampak vsaj 0,5 m nad dnom, kar pomeni lahko malo daljše, ali krajše izpuste. Vidimo tudi, da zaradi strmega spuščanja morskega dna na Bernardinu dosežemo globino 10-11 m že pri dolžini izpusta 150 m. To pomeni prihranek v stroških izvedbe.

Zaključna misel

V študiji, ki smo jo izvedli v tednu dni (!) smo prišli do idejne zasnove izpustov 'meteornih' voda, ki so tudi fekalno onesnažene. Izvedli smo izračune za začetno redčenje pri izhodu iz odprtine izpusta, kot tudi za sekundarno redčenje, pri katerem se madež izpuščene vode širi vzdolž tokov. S predlogom smo izpolnili kvantitativna pričakovanja o skupnem redčenju, ki mora biti večje od 50.

Za zanesljivo nadaljevanje načrtovanja in izvajanja izpustov, je poleg zagotovitve sredstev potrebno izvesti naslednje:

- Okoljska študija vplivov izpustov meteornih voda na življenje na morskem dnu in v vodnem stolpcu, tako ob gradnji, kot ob obratovanju.
- Podroben topografski pregled z 'normiranimi globinami' (na srednjo nižjo nizko vodo, ali pa na geodetsko koto '0', pomembno je, da vemo, kako so globine izpisane. V Sloveniji je izvajalec tega podjetje Sirio, ki je prevzelo nekdanje podjetje Harpha Sea.
- Podrobnejša analiza oceanografskih pogojev, med katere sodijo variabilnost temperature in slanosti v prostoru in času za natančnejšo določitev začetnega redčenja in boljša ocena tokov za izboljšanje ocene sekundarnega redčenja. Za tokove potrebujemo numerične simulacije cirkulacije Piranskega zaliva. Cirkulacijski model pa mora biti ovrednoten z meritvami tokov. Z numeričnimi simulacijami cirkulacije bomo tudi korektno zaobjeli najneugodnejše situacije za redčenje vode iz izpustov.
- Izvedba hidravličnega izračuna difuzorja za opredelitev pretoka skozi posamezno odprtino difuzorja in s tem določitev intervala začetnega redčenja izpuščene vode skozi različne odprtine difuzorja. Sedaj smo predpostavili 'povprečen pretok' – to je povprečen po vseh

odprtinah. V resnici je pretok skozi odprtino najbližje kopnu večji od pretoka skozi odprtino pri konici izpusta. Sama konica difuzorja mora biti zamašena.

Zahvala

Brez podatkov, ki sta jih zagotovila Danijela Kleva Švagelj in Jernej Volk tega poročila ne bi bilo. To velja tudi za informacije in gradivo, ki jih je zagotovila dr. Valentina Turk. Dr. Boris Petelin je pomagal s podatki o morskem okolju in bil v pomoč pri razhroščevanju prevajalnika, Tihomir Makovec se je trudil z iskanjem in presnemavanjem posnetkov laboratorijskih simulacij.

LITERATURA

Brooks N. H. (1960). Diffusion of sewage effluent in an ocean current. V *Proc. of First International Conference on Waste Disposal in the Marine Environment*, Vol. 1, 246-267 University of California, 1959. Pergamon Press, New York.

Featherstone R. E. (1984). Mathematical models of the discharge of wastewater into a marine environment. V *An Introductory to Water Quality Modelling*, 150-162 (Ur. A. James). Chichester: John Wiley.

Fischer H. B., E. J. List, R. C. Y. Koch, J. Imberger in N. H. Brooks (1979). *Mixing in Inland and Coastal Waters*. New York: Academic Press.

Forte J. (2001). Vpliv gojišča rib na ekološke razmere notranjega dela Piranskega zaliva. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana. 50 str.

Forte J. in V. Turk (2012). Letno poročilo o obratovalnem imisijskem monitoring izpusta čistilne naprave Piran za leto 2011: zaključno poročilo. 127, 47 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Kovač N., J. Forte, B. Vrišer, V. Malačič in V. Flander Putrle (2000). Assessment of the Fish farming to the Oligotrophic Environment of the Slovenian Coastal Sea: Final Report. 10, 37 pp., Piran: National Institute of Biology, Marine Biology Station.

Kundu P. K. (1990). *Fluid Mechanics*. New York: Academic Press, Inc.

Malačič V. (1999a). Disperzija polutantov točkastih virov v Koprskem zalivu, Poročilo 2 146, 33 pp., Piran: Inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Malačič V. (1999b). Disperzija polutantov točkastih virov v Koprskem zalivu, Zaključno poročilo 3. 155, 10 pp., Piran: Inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Malačič V. (2001). Numerical modelling of the initial spread of sewage from diffusers in the Bay of Piran (northern Adriatic). *Ecological Modelling* 138, 173-191 str.

Malačič V. (2004). Rise of effluent from an underwater sewage diffuser in the southern part of the Gulf of Trieste (northern Adriatic) during the bora event. V *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, Vol. 37, 121-121 (Ur F. Briand). Barcelona. CIESM (Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée).

Malačič V. (2005). Initial spread of an effluent and the overturning length scale near an underwater source in the northern Adriatic. *Journal of Marine Systems* 55(1-2), 47-66 str.

Malačič V. (2008). Vpliv izpusta iz čistilne naprave Koper na življenje in rast morskih školjk ter polžev v Koprskem zalivu. 101, 22 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Malačič V. in B. Potočnik (1998). Disperzija polutantov točkastih virov v Koprskem zalivu, Fazno poročilo 1 146, 33 pp. pp., Piran: Inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Malačič V. in D. Viezzoli (2000). Tides in the northern Adriatic Sea - the Gulf of Trieste. *Il Nuovo Cimento Soc. Ital. Fisica C* 23(C 4), 365-382 str.

Malačič V. in P. Mozetič (2005). Modelling of the spread of an effluent and the overturning length scale near an underwater source in the northern Adriatic. *Journal of Chemical Information and Modeling* 45, 1491-1501 str.

Malačič V., B. Čermelj, L. Lipej, M. Orlando-Bonaca, B. Mavrič, V. Flander-Putrlje, M. Šiško, M. Jeromel in U. Martinčič (2012). Onesnaženost morskega sedimenta in pregled obstoječih podatkov v Piranskem zalivu na območju Marine portorož : zaključno poročilo - 1. faza : Pregled obstoječih podatkov (fizikalnih, bioloških, kemičnih) in statistični pregled podatkov o vetrovih 143, 54 pp., Piran: Inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Mozetič P., V. Malačič in V. Turk (1999). Ecological characteristics of seawater influenced by sewage outfall. *Annales* 9(2), 177-190 str.

Turk V. (1987). Bacteriological contamination of the eastern part of the Gulf of Trieste (North Adriatic) due to sewage discharge. *Chemosphere* 16(2/3), 551-558 str.

Turk V. (1996-2014). Raziskave kakovosti morja in kontrola onesnaženja: poročila za leta 1997-2014. 64 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja (National Institute of Biology, Marine Biology Station).

Turk V. (2002). Ocena vpliva komunalne odpadne vode ČN Koper, Poročilo o vplivih na okolje zabrekonstrukcijo in dograditev obstoječe ČN Koper. 48, 15 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Turk V. in J. Faganeli (1990). Onesnaženost reke Rižane in notranjosti Koprskega zaliva. *Pomorska medicina* 39, 509-514 str.

Turk V., O. Bajt, N. Kovač in A. Ramšak (2004). Kakovost morja in kontrola onesnaženja : poročilo za leto 2003. 63, 41 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Turk V., J. Francé, P. Mozetič in M. Orlando Bonaca (2011). Ocene pojavljanja prekomerne razrasti makroalg in "cvetenja" fitoplanktona v kopalnih vodah za pripravo profilov kopalnih voda - morje. 127, 50 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Turk V., B. Čermelj, B. Petelin, A. Malej in V. Malačič (2002a). Poročilo o stanju okolja 1997-2000. 35, 46 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Turk V., O. Bajt, N. Kovač, P. Mozetič, A. Ramšak in A. Malej (1999). Raziskave kakovosti morja in kontrola onesnaženja. Poročilo za leto 1999. 104 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Turk V., O. Bajt, N. Kovač, M. Horvat, R. Milačič, P. Mozetič, B. Tušek-Znidarič in A. Malej (2000). Raziskave kakovosti morja in kontrola onesnaženja. Poročilo za leto 2000. 105 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

Turk V., O. Bajt, B. Čermelj, J. Francé, N. Kovač, M. Horvat, R. Milačič, P. Mozetič, A. Ramšak in A. Malej (2002b). Kakovost morja in kontrola onesnaženja : poročilo za leto 2002. 42, 90 pp., Piran: Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja.

UNEP (1995). Guidelines for Submarine Outfall Structures for Mediterranean Small and Medium-Sized Coastal Communities. Working document. WG. 89/Inf 6, 34 pp., Atene: UNEP(OCA).