

# Model strujanja mora i pronosa mikroorganizama u lukama

---

**Kulić, Tin; Bekić, Damir; Lončar, Goran**

*Source / Izvornik:* **6. simpozij doktorskog studija građevinarstva 2020, 2020, 47 - 60**

**Conference paper / Rad u zborniku**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2020>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:800673>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-15**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



# Model strujanja mora i pronosa mikroorganizama u lukama

**Tin Kulić<sup>1</sup>**, doc. dr. sc. **Damir Bekić<sup>2</sup>**, prof. dr. sc. **Goran Lončar<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Centar građevinskog fakulteta za projektiranje i nadzor nad gradnjom d.o.o., tin.kulic@grad.unizg.hr

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, damir.bekic@grad.unizg.hr

<sup>3</sup>Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, goran.loncar@grad.unizg.hr

## Sažetak

Jedan od glavnih mehanizama unosa stranih vrsta u morske luke odnosi se na ispuštanje balastnih voda što može narušiti bioraznolikost, pogoršati stanje okoliša i uzrokovati gospodarske štete. U slučaju Jadranskog mora, ispuštanje balastnih voda ubraja se među najutjecajnije mehanizme unosa stranih vrsta. U sklopu ovoga rada prezentirani su rezultati preliminarnih simulacija 3D numeričkog modela strujanja mora i pronosa pasivnih čestica za luku Ploče koji će poslužiti kao temelj za buduća mjerenja i proširenje modela za potrebe analize kretanja aktivnih čestica.

*Ključne riječi: balastne vode, strane vrste, strujanje mora, pronos pasivnih čestica, numeričko modeliranje*

## Model of sea circulation and transport of microorganisms in ports

### Abstract

One of key pathways for the spread of non-indigenous species is through discharge of ballast water, which can cause biodiversity loss, environment deterioration, and economical damage. Ballast water discharging is among the most influential causes for the non-indigenous species introduction in the Adriatic Sea. Preliminary simulations of a 3D numerical model of sea circulation and passive particle transport are presented and discussed in this paper. These results will be used as benchmark for future research and measurements, as well as for modelling behaviour of active particles.

*Key words: ballast water, non-indigenous species, sea current, particle transport, numerical modelling*

## 1 Uvod

Strane ili invazivne vrste predstavljaju članove flore i faune koji su prirodno nekarakteristični za određeno područje, a svojom pojavom i razvojem utječu na bioraznolikost, zdravlje ljudi te uzrokuju gospodarsku štetu [1]. Prema izvješću Europske agencije za okoliš [2], u razdoblju od 1949. do 2017. u europskim je morima zabilježen unos ukupno 1039 stranih vrsta, od čega je brodski promet sa 49,1 % udjela dominantan uzročnik unosa, a slijede ga izvedba kanala između mora (33,3 %), nenamjerni prijenos potencijalnih štetnika i zagađivača (11 %), migracije iz akvarija, akvakultura i marikultura (5,1 %) te namjerno ispuštanje u prirodu (1,7 %). U radu će se dati kratak osvrt na unos stranih vrsta u Jadransko more i ispuštanje balastnih voda kao značajnog mehanizma unosa (tablica 1.).

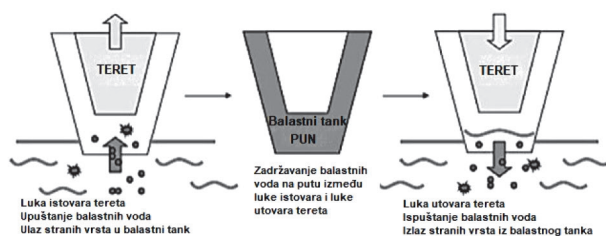
**Tablica 1. Ukupan broj novounesenih invazivnih vrsta u Jadransko more za različite mehanizme unosa u razdoblju od 1970. do 2017. [2]**

Mehanizam unosa	Pronos slijepih putnika – ispuštanje balastnih voda	Pronos slijepih putnika – obraštanje trupa broda	Pronos slijepih putnika – ostalo	Slučajni pronos zagađivača	Pronos putem postojećih koridora između mora	Migracije iz akvarija, akvakultura i sl.	Namjerno ispuštanje u more
Broj novih stranih vrsta 1970.-2017.	81	95	12	41	1	1	0

Osim ovoga, analizirat će se šire akvatorijalno područje luke Ploče za koju je uspostavljen 3D numerički model strujanja mora i pronosa pasivnih čestica. Pasivnim se česticama smatraju planktonske zajednice čije je gibanje inducirano isključivo morskim strujama uz mogućnost tonjenja navedenih čestica na dno, ali i nemogućnost njihovog kretanja neovisno o strujanju mora [3]. Na temelju rezultata simulacija navedenog modela planira se proširenje modela s ciljem uspostavljanja modela pronosa aktivnih i pasivnih čestica individualnih karakteristika (engl. *ABM – Agent Based Model*). Proširenjem modela, što podrazumijeva analizu kretanja aktivnih čestica, tj. mikroorganizama čije gibanje nije inducirano isključivo morskim strujama, već njihovom sposobnošću autonomnog odlučivanja o smjeru kretanja, očekuje se ostvarenje konačnog cilja u vidu implementacije takvog modela u sklopu sustava za efikasnu kontrolu i obranu luka od unosa stranih vrsta.

## 2 Unos stranih vrsta u Jadransko more uslijed ispuštanja balastnih voda

Balastna voda je voda s tvarima u njoj, upuštena radi postizanja zadovoljavajuće razine stabilnosti, uzdužnog i poprečnog nagiba, gaza i naprezanja broda [4]. Upuštanje balastnih voda obavlja se u lukama gdje se istovaruje brodski teret. Takve vode zadržavaju se u balastnim tankovima tijekom puta broda prema luci utovara tereta te služe kao kompenzacija mase za prethodno istovareni teret. U luci utovara tereta balastne se vode ispuštaju, pri čemu dolazi do unosa stranih vrsta u luku. Shema na kojoj je prikazana svrha i ciklus upuštanja, zadržavanja i ispuštanja balastnih voda prikazana je na slici 1.



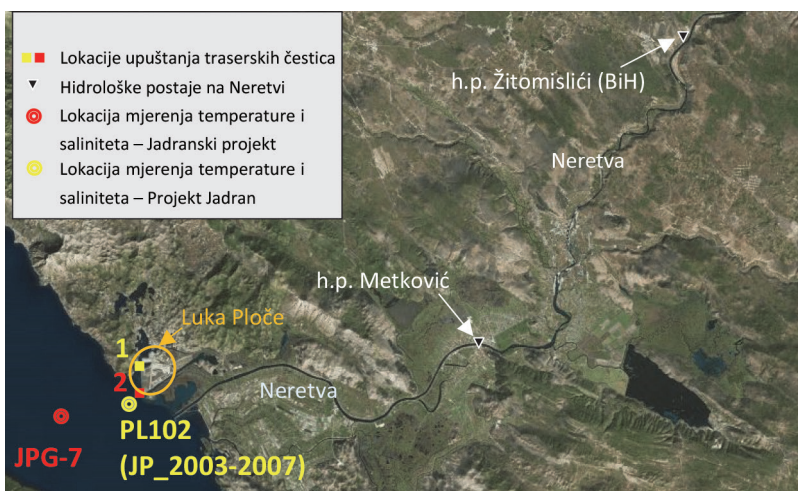
Slika 1. Shema upuštanja, zadržavanja i ispuštanja balastnih voda [5]

Prema podacima za razdoblje 2005. - 2010. prikupljenima u sklopu projekta GloBallast, prosječne godišnje količine ispuštenih balastnih voda u hrvatski dio Jadrana iznosile su između 2,18 i 2,48 milijuna  $m^3$ , a glavne lokacije ispuštanja su luke Rijeka, Split, Šibenik i Ploče [6]. Noviji podaci otkrivaju da je tijekom 2014. i 2015. godine prosječan godišnji unos balastnih voda bio između 3,14 i 3,50 milijuna  $m^3$ , a lokacije najznačajnijeg unosa ostale su nepromijenjene [7] u odnosu na analize provedene u sklopu GloBallast projekta. S obzirom na to da se u hrvatskim lukama odvija i međunarodni promet i trgovina, značajan je i podatak o broju zooplanktona, fitoplanktona i cista za druge međunarodne luke koji se općenito iznosi od nekoliko desetaka do nekoliko stotina tisuća pa čak i milijuna primjeraka na 1  $m^3$  balastne vode [8]. Nadalje, uzimajući u obzir da je, osim obraštanja trupova brodova, ispuštanje balastnih voda jedan od dva dominantna mehanizma unosa stranih vrsta u Jadransko more (tablica 1.), može se reći da je jasna motivacija za definiranje plana učinkovitijeg praćenja i upravljanja balastnim vodama te količinama unesenih stranih vrsta. U razdoblju između 2013. i 2016. godine provedbom IPA Adriatic CBC projekta BALMAS postignuta je suradnja između svih država na obalama Jadranskog mora (Republika Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Crna Gora, Albanija, Italija i Slovenija). Glavni je cilj toga projekta bio integrirati sve potrebne aktivnosti za dugotrajno, ekološko, učinkovito i održivo provođenje mjera BWM konvencije iz 2004. godine [9]. Neki od rezultata projekta su izrada baze podataka iz sustava za kontrolu prometa, osmišljavanje platforme za GIS aplikaci-

ju, ustanovljenje nultog stanja u odabranim jadranskim lukama, početak monitoringa lučkih ekosustava, uspostavljanje sustava pravovremenog upozoravanja o izvanrednim stanjima, itd. Provedena istraživanja i rezultati tog projekta mogu se iskoristiti za daljnja istraživanja na području kontrole unosa i predviđanja kretanja stranih vrsta u lučkim akvatorijima. U sklopu ovoga rada, težište se stavlja na analizu strujanja mora i pronosa čestica u luci Ploče za potrebe koje je uspostavljen 3D numerički model.

### 3 Numerički model strujanja mora i pronosa pasivnih čestica

Za širi akvatorij luke Ploče uspostavljen je 3D numerički model strujanja mora i pronosa pasivnih čestica s ciljem detekcije potencijalnih zona akumulacije čestica unesenih u more na lokacijama lučkih terminala, odnosno zadržavanja broda na vezu. U kontekstu modeliranja pasivne će se čestice poistovjetiti s traserskima uzimajući u obzir da su opisane svojim optičkim i dinamičkim karakteristikama na temelju kojih je omogućeno praćenje njihovog kretanja unutar analiziranog fluida [10]. Prvotne analize provedene su uz pretpostavku da traserske čestice nisu podložne tonjenju, a potom je napravljen i odgovarajući broj simulacija u kojima su brzine tonjenja čestica usvojene s vrijednostima 0,001, 0,0005 i 0,0002 m/s. Brzine tonjenja određene su na temelju poznatih podataka o veličini planktona te ovisnosti brzine njihovog tonjenja o temperaturi i salinitetu [11]. Prema tome, pronos čestica odvija se primarno u površinskom sloju mora u kojem vjetar ima značajni utjecaj. Tok rijeke Neretve također značajno utječe na površinsko polje strujanja. Osim provedene numeričke analize polja brzine strujanja, provedena je i numerička analiza konvektivno - disperzivnog pronosa pasivnih čestica upuštenih na nekoliko uobičajenih lokacija broda na vezu lučkih terminala. Lokacije upuštanja označene su žutim i crvenim kvadratom s pripadnim brojkama 1 i 2, redom, što je vidljivo na situaciji promatranog područja (slika 2.).

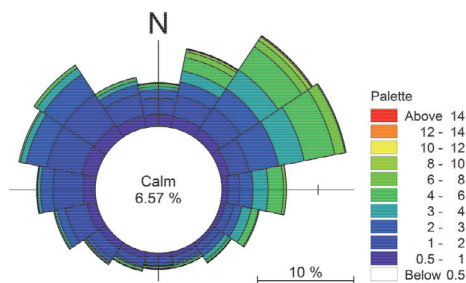


Slika 2. Situacija promatranog područja

### 3.1 Ulazni podaci

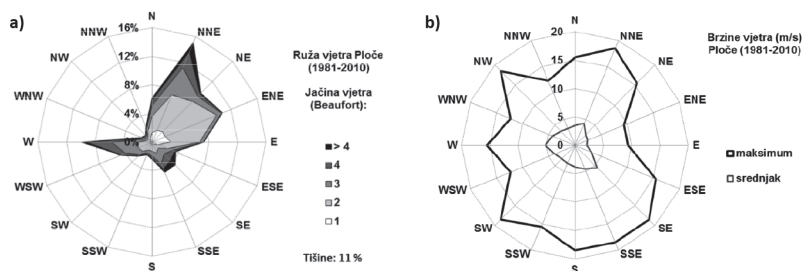
#### 3.1.1 Vjetar

Na slici 3. prikazana je ruža vjetrova dobivena na temelju rezultata numeričkog atmosferskog modela ALADIN - HR s pripadnim središnjim smjerovima N (raspon 337,5 - 22,5) , NE (raspon 22,5 - 67,5), E (raspon 67,5 - 112,5), SE (raspon 112,5 - 157,5), S (raspon 157,5 - 202,5), SW (raspon 202,5 - 247,5), W (raspon 247,5 - 292,5) i NW (raspon 292,5 - 337,5) za lokaciju luke Ploče u razdoblje 1992. - 2001. [9].



Slika 3. Ruža vjetrova za relative učestalosti trosatne brzine vjetra

Za razdoblje od 1981. do 2010. prikazana je na slici 4. ruža vjetrova za meteorološku postaju Ploče. Najveću učestalost ima bura, odnosno vjetrovi sjeveroistočnog kvadranta NNE, NE i ENE smjera koji se ukupno javljaju u 36 % terminskih podataka (slika 4.).



Slika 4. Ruža vjetrova (lijevo), maksimumi i srednjaci (desno) brzina vjetra na meteorološkoj postaji Ploče u razdoblju 1981. - 2010.

### 3.1.2 Protok i temperatura rijeke Neretve

Rijeka Neretva je regulirana pri čemu nema prirodni režim otjecanja uslijed upravljanja radom postojećih hidroelektrana, a prva hidrološka postaja (dalje u tekstu: h.p.), nakon koje nema značajnih pritoka ni regulacije protoka, je h.p. Žitomislići [13]. Na raspolaganju su podaci o dnevnom režimu protoka i temperature rijeke Neretve na h.p. Žitomislići za razdoblje 2007. - 2014. godine, te na h.p. Metković za razdoblje 2015. - 2018. Lokacije postaja prikazane su na situaciji promatranog područja (slika 2.). Na temelju raspoloživih podataka o protoku utvrđeno je da se maksimalni protoci javljaju tijekom zime, ranog proljeća ili kasne jeseni, a minimalni su protoci zabilježeni u ljetnim mjesecima.

### 3.1.3 Temperatura i salinitet mora

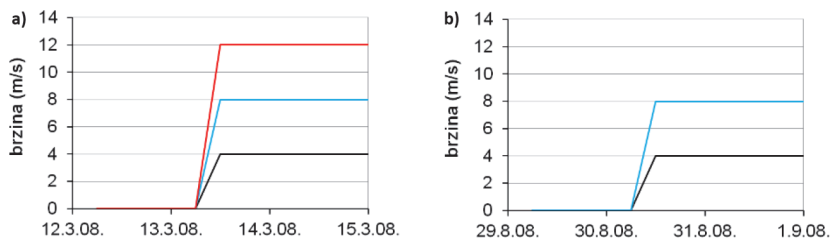
Lokacije postaja na kojima je bilježena temperatura i salinitet mora u sklopu recentnih nacionalnih programa monitoringa prikazane su na situaciji promatranog područja (slika 2.). Na postaji JPG - 7 mjereni su vertikalni profili temperature i saliniteta mora u pet termina tijekom provedbe *Jadranskog projekta* u razdoblju 2007. - 2008. [14], a na postaji PL102 mjerene su temperatura i salinitet mora u površinskom sloju mora, na dubinama 5 i 10 m, te u pridnom sloju na dubini 18 m u razdoblju od 2003. do 2007. tijekom provedbe *Projekta Jadran*.

## 3.2 Skup simulacija

Na temelju dostupnih podataka o vjetru te podataka o protoku Neretve zaključeno je da se modelom strujanja mora trebaju obuhvatiti oceanografski uvjeti karakteristični za "kasnojесensko/zimsko/ranoproljetno" (dalje u tekstu: *zimsko*) razdoblje (odsutnost stratifikacije u zoni otvorenog mora), te oceanografski uvjeti s prisutnom stratifikacijom vodnog stupca na cijelom području modelske domene (*ljetno* razdoblje). Numeričkim su modelom analizirane situacije karakterističnih protoka Neretve u iznosu od 100 m<sup>3</sup>/s (95 % trajanje na h.p. Metković za razdoblje 2015. - 2018.), 500 m<sup>3</sup>/s (15 % trajanje na h.p. Metković za razdoblje 2015. - 2018.) te 1400 m<sup>3</sup>/s. Zadnja u tom nizu navedena vrijednost protoka usvojena je kao mjerodavna vrijednost maksimalnog protoka za *zimsko* razdoblje, pri čemu je stvarno izmjerena vrijednost na h.p. Metković za analizirano razdoblje iznosila 1357 m<sup>3</sup>/s (21.3.2018.). Rezultati mjerenja temperature i saliniteta mora korišteni su u sintezi rubnih uvjeta za skalarna polja na otvorenoj granici mora.

Numeričke simulacije strujanja mora i pronosa pasivnih čestica provedene su tijekom tri dana u *zimskom* i *ljetnom* režimu oceanografskih i atmosferskih uvjeta. Za *zimске* uvjete usvojeno je formalno razdoblje numeričkih simulacija 12. do 15. ožujka 2008., a za *ljetne* uvjete usvojeno je razdoblje 29. kolovoza 2008. - 1. rujna

2008. Nadalje, u simulacijama *zimskog* razdoblja (12. do 15. ožujka 2008.) djelovanje vjetra modelirano je homogenim i nestacionarnim poljem vjetra sa središnjim smjerovima N, NE, E, SE, S, SW, W, NW i maksimalnim brzinama vjetra 4 m/s (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW), 8 m/s (NE, E, SE, S, SW, W, NW) i 12 m/s (NE, SE, S, SW, W), postavljenim za nastup u formalnom terminu 13. ožujka 2008. (1 dan nakon početka simulacije 12. ožujka 2008., slika 5.a). Ista metodologija korištena je i u sklopu simulacija za *ljetno* razdoblje (29. kolovoza 2008. - 1. rujna 2008., slika 5.b) izuzev analize maksimalne brzine vjetra od 12 m/s.



Slika 5. Vremenska serija brzine vjetra za a) "zimsko" i b) "ljetno" razdoblje

Od ukupno 128 provedenih simulacija, u tablici 2. prikazan je primjer nekoliko simulacija za različite ulazne parametre.

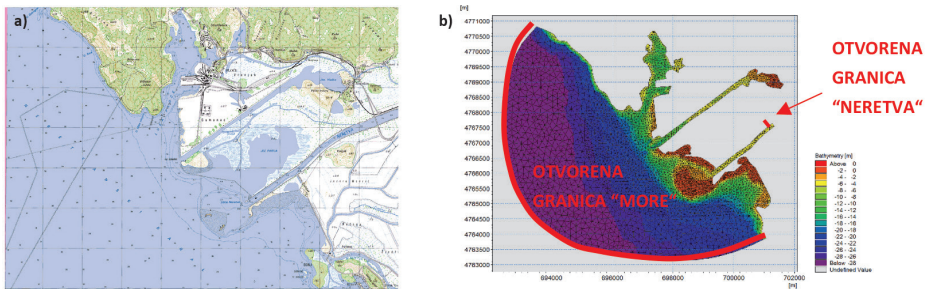
Tablica 2. Nomenklatura provedenih numeričkih simulacija

R.br.	Razdoblje	Protok rijeke Neretve Q [m <sup>3</sup> /s]	Vjetar -smjer (brzina)	Izvor čestica (slika 2.)	Tonjenje pasivnih čestica [m/s]
2	12.3.-15.3.	500	-	1, 2	0
14		500	SE (4 m/s)	1, 2	0
53		1400	NE (12 m/s)	1, 2	0
107	12.3.-15.3.	varijabilno (vremenska serija polusatnih protoka na h.p. Žitomislići u razdoblju 12.3. - 15.3.2008.)	varijabilno (vremenska serija brzine i smjera vjetra na temelju rezultata ALADIN-HR modela u razdoblju 12.3. - 15.3.2008.)	1, 2	0,0005



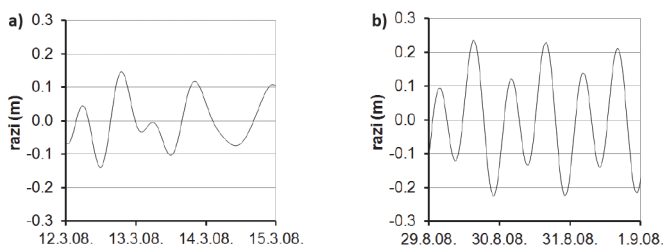
### 3.3 Uspostavljanje numeričkog modela strujanja mora i pronosa pasivnih čestica

Batimetrijska podloga dobivena je na temelju nautičkih karata u mjerilu 1:25000 ([www.navionics.com](http://www.navionics.com)) te primjenom bilinearne interpolacije za lokacije numeričkih čvorova na kojima nema definiranih dubina. Otvorene granice modela prikazane su linijama crvene boje, a krute granice odgovaraju kontaktnoj liniji akvatorijalnog dijela s linijom prirodne ili umjetne obale. Te su granice nepropusne i kroz njih nema fluksa polja brzina. Modelska prostorna domena diskretizirana je nestrukturiranom mrežom konačnih volumena (slika 6.b). Prostorni inkrement između numeričkih čvorova, smještenih u težištu konačnih volumena varira između 15 m u blizini obalne crte i 150 m na području najvećih dubina. U vertikalnom smjeru za oba modela korišten je 1 sigma sloj debljine 1 m te ispod njega "z" koordinata s debljinom ćelija od 2 m.



Slika 6. Luka Ploče – a) akvatorijalno područje, b) prostorna domena numeričkog modela

Na otvorenoj granici "MORE" (slika 6.b) definiran je rubni uvjet u obliku vremenske serije morskih razina izračunanih na temelju realnih podataka o amplitudama i fazama sedam osnovnih konstituenata plimnog signala (slika 7.).



Slika 7. Vremenski niz relativnih morskih razina korišten za rubni uvjet na otvorenoj granici numeričkog modela "MORE" za razdoblja a) 12. do 15. ožujka 2008.; b) 29. kolovoza do 1. rujna 2008. [15]

U profilu navedene otvorene granice korištena su nestacionarna polja temperature i saliniteta mora dobivena na temelju mjerena CTD sondom na postajama JPG - 7 u terminima 12. ožujka 2008. i 29. kolovoza 2008. Za početne uvjete temperature i saliniteta mora u simulacijama za razdoblje 12. do 15. ožujka 2008. korištene su izmjerene vertikalne razdiobe u terminu 12. ožujka 2008., a za početne uvjete temperature i saliniteta mora u simulacijama za razdoblje 29. kolovoza - 1. rujna 2008. Na otvorenoj granici "NERETVA" korišteni su protoci rijeke Neretve od 100, 500 i 1400 m<sup>3</sup>/s. Temperatura Neretve usvojena je kao konstantna vrijednost 10.2 °C za razdoblje 12. do 15. ožujka 2008., te kao vrijednost 18,5 °C za razdoblje 29. kolovoza - 1. rujna 2008. Obje vrijednosti temperature dobivene su ne temelju određivanja srednjih vrijednosti dnevnih temperatura rijeke Neretve na h.p. Žitomislići zabilježenih u dvama razdobljima za koja su provedene simulacije. Salinitet Neretve usvojen je s vrijednosti 0 PSU.

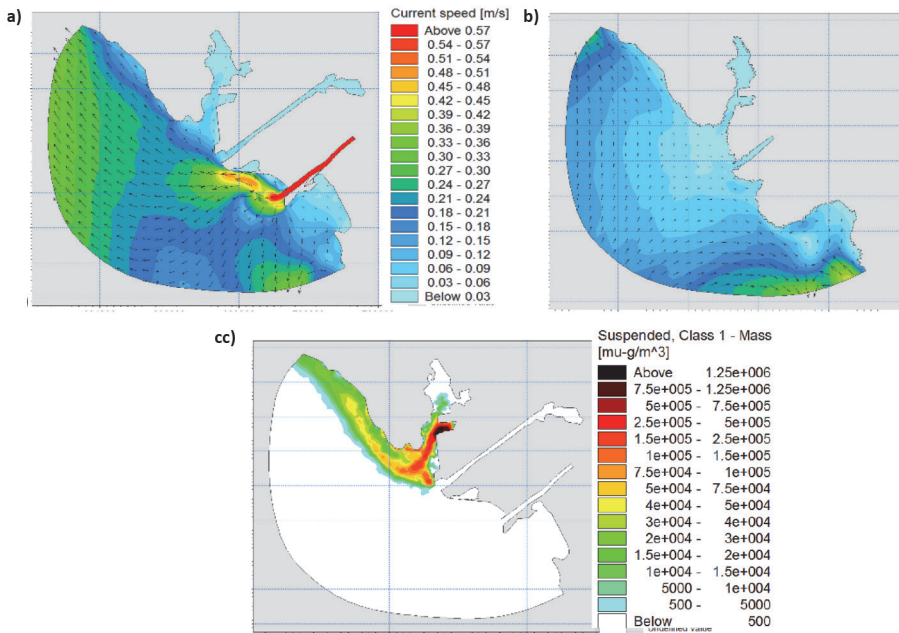
Na kontaktu mora i atmosfere primijenjeno je polje brzine vjetra, pri čemu je za koeficijent trenja usvojena vrijednost 0,0016 [16]. Zatvaranje modela turbulencije oslanja se na  $k - \epsilon$  formulaciju [17] u vertikalnom smjeru i Smagorinskyjev koncept [18] u horizontalnom smjeru. Koeficijenti turbulentne disperzije za skalarna polja temperature i saliniteta definirani su faktorima proporcionalnosti (Prandtllov broj) 0,9 u vertikalnom smjeru i 0,12 u horizontalnom smjeru. Faktori proporcionalnosti za polja turbulentne kinetičke energije ( $TKE$ ) i disipacije ( $\epsilon$ ) usvojeni su s vrijednostima 1 ( $TKE$ ) i 1.3 ( $\epsilon$ ) u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Hrapavost i Smagorinskyjev koeficijent u modelu su usvojeni kao prostorno homogeni s vrijednostima 0,01 m i 0,2. Toplinska izmjena s atmosferom nije uzeta u obzir. U nastavku su dani detaljni opisi rubnih i početnih uvjeta za pojedini model.

Izračunana polja brzine strujanja u sklopu hidrodinamičkog dijela numeričkog modela osnova su za daljnji proračun pronosa pasivnih čestica mehanizmom konvektivne disperzije. Pasivne čestice nisu podložne reaktivnom procesu degradacije. Konvektivno - disperzivna komponenta pronosa uspostavljena je primjenom Lagrangeovog modela diskretnih čestica. Konvektivna komponenta oslanja se na rezultate strujanja, a turbulentna disperzija definirana je kao slučajna i neovisan Markovljev proces [19]. Diskretni pomaci čestica izračunavaju se metodom slučajnog koraka rješavanjem sustava Fokker - Planckovih i Langevinovih jednadžbi [20].

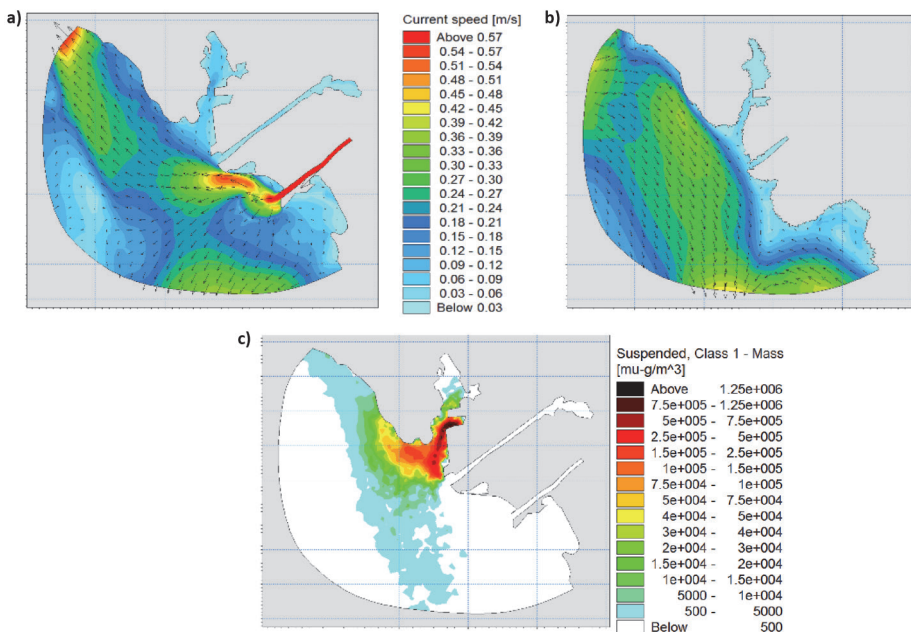
Izvori pasivnih čestica postavljeni su na lokacijama 1 i 2 (slika 2.) i dubini - 2 m, te s intenzitetom masenog fluksa od 0,033 kg/s. Početak unosa čestica je 48 sati nakon početka simulacije (14. ožujka i 31. kolovoza).

### 3.4 Rezultati numeričkog modela

Navest će se primjeri rezultata dviju simulacija s komentarima. Odabrane su dvije simulacije u "zimskom" razdoblju (12. - 15. ožujka) za protok rijeke Neretve od 500 m<sup>3</sup>/s, bez djelovanja vjetra te bez tonjenja pasivnih čestica (tablica 2., simulacija 2) te za protok Neretve od 500 m<sup>3</sup>/s, s djelovanjem SE vjetra brzine 4 m/s te bez tonjenja pasivnih čestica (tablica 2., simulacija 14).



Slika 8. Satno usrednjena polja brzina strujanja za a) površinski sloj; b) dubinu od - 8 m; c) polja koncentracije traserskih čestica za zadnji sat simulacije 2 (tablica 2.)



Slika 9. Satno usrednjena polja strujanja za a) površinski sloj; b) dubinu -8 m; c) polja koncentracije traserskih čestica za zadnji sat simulacije 14 (tablica 2.)

Na temelju prikazanih rezultata za stacionarne uvjete okoliša (protok Neretve, brzina i smjer vjetra, temperatura i salinitet mora) u "zimskom" razdoblju, u kojima nema tonjenja pasivnih čestica niti prisustva vjetra, primijećeno je da se oblak "onečišćenja" za protok Neretve od 500 m<sup>3</sup>/s širi u smjeru NW. Za isti protok Neretve i iste okolišne uvjete uz prisutnost SE vjetra brzine 4 m/s dolazi do širenja oblaka onečišćenja u smjeru NW i S. Iz preostalih simulacija, u kojima tonjenje čestica nije uzeto u obzir, a nisu prikazane u sklopu ovoga rada, uočeno je da porast protoka Neretve uzrokuje umanjenje koncentracije oblaka onečišćenja kada vjetar nije prisutan. U sklopu simulacija, u kojima je tonjenje čestica uzeto u obzir i nema djelovanja vjetra, dolazi do raspršenja čestica unesenih na lokaciji 2 uslijed djelovanja toka rijeke Neretve, a za čestice unesene na lokaciji 1 taloženje je prisutno u neposrednoj blizini od mjesta upuštanja.

## 4 Zaključak

Jedan od glavnih mehanizama unosa stranih vrsta na područjima lučkih akvatorija jest ispuštanje balastnih voda u lukama utovara tereta, što posljedično može narušiti bioraznolikost, pogoršati stanje okoliša i, u konačnici, uzrokovati pojavu ekonomskih šteta. S obzirom na to da se u lukama Jadranskog mora odvija međunarodni promet, može se reći da je opasnost od unosa stranih vrsta uslijed ispuštanja balastnih voda prisutna. Štoviše, na temelju dostupnih podataka uočeno je da je upravo ispuštanje balastnih voda, osim obraštanja trupa broda, jedan od dva najznačajnija mehanizma unosa stranih vrsta na području luka Jadranskog mora (tablica 1.).

U sklopu ovoga rada prikazani su rezultati dviju preliminarnih simulacija 3D numeričkog modela strujanja mora i pronosa pasivnih čestica za šire akvatorijalno područje luke Ploče. Na temelju provedenih simulacija za stacionarne uvjete okoliša zaključeno je da, u slučaju istog protoka rijeke Neretve i bez tonjenja čestica, prisutnost vjetra potiče širenje oblaka onečišćenja od mjesta upuštanja traserskih čestica (slike 8. i 9.). Rezultati preliminarnih simulacija poslužit će za potrebe definiranja lokacije postavljanja uređaja za mjerenje brzine strujanja mora (ADCP) unutar luke Ploče. Ta će se mjerenja iskoristiti za potrebe kalibracije modela, a provedene simulacije poslužit će za daljnja istraživanja. Pri tome će se u obzir uzeti i širenje aktivnih čestica za koje se očekuje širenje neovisno o djelovanju morskih struja i valova posebice u uvjetima manjih brzina strujanja te, u ovom slučaju, protoka Neretve.

Zaključno, osim akvatorijalnog područja luke Ploče, planirano je proširenje istraživanja na luku Rijeka zajedno s postavljanjem ADCP - a i uspostavljanjem 3D numeričkog modela cirkulacije mora i pronosa aktivnih i pasivnih čestica, a sve sa svrhom prognoziranja unosa i širenja stranih vrsta.

## Literatura

- [1] Zakon o zaštiti prirode NN 80/2013, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_06\\_80\\_1658.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1658.html)
- [2] European Environment Agency, Pathways of introduction of marine non-indigenous species to European seas, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/trends-in-marine-alien-species-1/assessment>
- [3] Lalli, C.M., Parsons, T.R.: Biological Oceanography An Introduction Second Edition. 0 7506 3384 0, Elsevier Butterworth - Heinemann, 1993.
- [4] Pravilnik o upravljanju i nadzoru balastnih voda NN 128/12, <http://www.propisi.hr/print.php?id=12003>
- [5] Szczepanek, M., Behrent, C.: Assessment of selected on-board ballast water treatment system in terms of technical and operation parameters, New trends in production engineering (2018.) 1, pp. 461 - 467
- [6] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture: Procjena statusa upravljanja balastnim vodama u Republici Hrvatskoj, 2011.
- [7] Čović Bajramagić, M., Vukić, L., Slišković, M.: Analysis of ballast water quantity and type of cargo in main ports of Croatia for 2015., 7<sup>th</sup> International Maritime Science Conference, Solin, pp. 481 - 486, 2017.
- [8] Gollasch, S., Rosenthal, H.: Transfer of Non-Indigenous Aquatic Species Concern Aquatic Resource Users (Chapter), Oceans and Aquatic Ecosystems – Volume II, (ur. Wolanski, E.), Eols Publishers Co. Ltd., Oxford, pp. 151 - 170, 2009.
- [9] International Maritime Organization: The International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004.
- [10] Emrich, R.J.: Fluid Dynamics – Volume 18B, (ur. Emrich, R.J.), Academic Press, London, pp. 6 - 7, 1981.
- [11] Bienfang, P.K., Szyper, J.P.: Effects of Temperature and Salinity on Sinking Rates of the Centric Diatom *Ditylum brightwellii*, Biological Oceanography (1982.) 1:3, pp. 211 - 223
- [12] Ocvirk, E.: Optimizacija nasipnih zaštitnih građevina u uvjetima ekstremne jadranske valne klime, disertacija, 2010.
- [13] Federalni hidrometeorološki zavod BiH: Hidrološki godišnjaci za razdoblje 2004. - 2012., <http://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/P-hidro.php>
- [14] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet: Vertikalni profili temperature i saliniteta mora u akvatoriju Neretljanskog kanala, Program praćenja stanja Jadranskog mora, 2010.

- [15] HHI: Izvešće o mjerenjima na mareografskoj postaji u razdoblju od ožujka 2002. do ožujka 2003. godine, 2003.
- [16] Wu, J.: The sea surface is aerodynamically rough even under light winds, *Boundary layer Meteorology*, pp. 149 - 158., 1994.
- [17] Rodi, W.: Examples of Calculation Methods for Flow and Mixing in Stratified Fluids, *Journal of Geophysical Research*, pp. 5305 - 5328, 1987.
- [18] Smagorinsky, J.: Some historical remarks on the use of nonlinear viscosities, In: *Large eddy simulations of complex engineering and geophysical flows*, (ur. B. Galperin, S. Orszag), Cambridge University Press, pp. 1 - 34, 1993.
- [19] Gardiner, C.W.: *Handbook of stochastic methods for Physics Chemistry and Natural Science*, Springer - Verlag. Berlin, 409 pp., 1985.
- [20] Kloeden, P.E., Platen, E.: *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*, Springer - Verlag, Berlin, 636 pp., 1999.