

# Modeliranje pronosa pridneno ispuštenog onečišćenja

Goran Lončar, Vladimir Andročec, Goran Gjetvaj

## Ključne riječi

onečišćenje,  
pridneno ispušteno  
onečišćenje,  
pronos onečišćenja,  
numerički model,  
podmorski ispust

## Key words

pollution,  
near-bottom pollution  
discharged,  
pollution transport  
numerical model,  
offshore outfall

## Mots clés

pollution  
décharge de pollution  
près du fond,  
transport de pollution,  
modèle numérique,  
déversoir sous-marin

## Ключевые слова

загрязнение,  
донно спущенное  
загрязнение,  
пронос загрязнения,  
числовая модель,  
подводный спуск

## Schlüsselworte

Verunreinigung,  
grundnah ausgelassene  
Verunreinigung,  
Verunreinigungsdurchtrag,  
numerisches Modell,  
Unterseeauslass

G. Lončar, V. Andročec, G. Gjetvaj

Prethodno priopćenje

## Modeliranje pronosa pridneno ispuštenog onečišćenja

Opisano je modeliranje pronosa pridneno ispuštenog onečišćenja pri stacionarnom tečenju u kanalu jednolikog pravokutnog presjeka s primjenom dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih modela. Osim usporedbe rezultata ravninskog i prostornog numeričkog modeliranja raspodjele koncentracije pridneno ispuštenog onečišćenja u kanalu idealiziranih geometrijskih obilježja, dana je i usporedba reprezentativne veličine tzv. brzine miješanja s rezultatima dobivenim fizikalnim modeliranjem.

G. Lončar, V. Andročec, G. Gjetvaj

Preliminary note

## Near-bottom pollution transport modelling

The near-bottom transport of pollution, discharged during stationary flow into a channel of uniform rectangular cross section, is modelled by means of two-dimensional and three-dimensional models. Comparison between in-plane and three-dimensional numerical modelling results, defining distribution of near-bottom pollution in a channel of idealized geometrical properties, is provided. A comparison between the representative value of the so called mixing velocity, and the results obtained by physical modelling, is also presented.

G. Lončar, V. Andročec, G. Gjetvaj

Note préliminaire

## Modélisation de transport de pollution déchargée près du fond

Le transport de pollution déchargée près du fond, au cours de l'écoulement stationnaire dans un canal de section uniforme rectangulaire, est modélisé à l'aide de modèles bidimensionnels et tridimensionnels. La comparaison est faite entre les résultats de modélisation numérique bidimensionnels et tridimensionnels, qui définissent la distribution de la pollution près du fond dans un canal de propriétés géométriques idéalisées. Une comparaison entre la valeur représentative de la vitesse de malaxage, et les résultats obtenus par modélisation physique, est également présentée.

Г. Лончар, В. Андрочец, Г. Джетвай

Предварительное сообщение

## Моделирование прноса донно спущенного загрязнения

В работе дан обзор прноса донно спущенного загрязнения при стационарном течении в канале одинакового прямоугольного сечения с применением двухмерных и трёхмерных моделей. Кроме сравнения результатов плоскостного и пространственного числового моделирования распределения концентрации донно спущенного загрязнения в канале идеализированных геометрических характеристик, дано и сравнение репрезентативной величины так называемой скорости смешивания с результатами, полученными физическим моделированием.

G. Lončar, V. Andročec, G. Gjetvaj

Vorherige Mitteilung

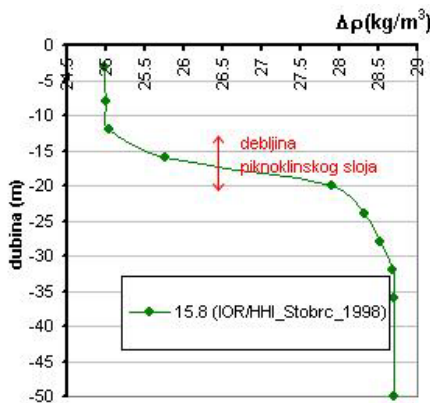
## Modellierung des Durchtrags grundnah ausgelassener Verunreinigung

Beschrieben ist die Modellierung des Durchtrags grundnah ausgelassener Verunreinigung bei stationärem Fließen im Kanal mit gleichmäßigem rechteckigem Querschnitt, unter Anwendung von zwei- und dreidimensionalen Modellen. Ausser dem Vergleich der Ergebnisse des ebenen und räumlichen numerischen Modellierens der Konzentrationsverteilung der grundnah ausgelassener Verunreinigung im Kanal mit idealisierten geometrischen Kennzeichen, gibt man auch den Vergleich der repräsentativen Grösse der sgn. Mischgeschwindigkeit mit den Ergebnissen physikalischen Modellierens.

Autori: Doc. dr. sc. **Goran Lončar**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Vladimir Andročec**, dipl. ing. brod.;  
prof. dr. sc. **Goran Gjetvaj**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26

1 Uvod

Karakteristični registrirani vertikalni profil gustoće mora [1] na području podmorskoga ispusta Stobreč (Split), koji nastaje kao rezultat sezonskih (ljetnih) gradijenata saliniteta i temperature, prikazan je na slici 1. U razdoblju od svibnja do kolovoza pojava raslojenosti stupca mora poželjna je sa sanitarnoga stajališta zaštite priobalnoga rekreativnog pojasa budući da formirana stabilna piknoklina evidentno prigušuje miješanje pridnenih slojeva (opterećenih ispuštenim onečišćenjem) s površinskim slojem, pri čemu se uz postupno zaustavljanje prodora uzgonskoga mlaza mješavine otpadne i morske vode u vertikalnom smjeru događa intenzivniji horizontalni pronos u smjeru prevladavajuće morske struje. Pri određenim uvjetima (dovoljno jaki i stabilni vertikalni gradijent gustoće u piknoklinskom sloju), „oblak“ pridneno ispuštenoga onečišćenja bit će „blokiran“ u pridnom sloju u kojem su brzine strujanja prema obali redovito osjetno manje u usporedbi s površinskim slojevima podložnim djelovanju vanjskih pobuda (vjetar, valovi, zagrijavanje površine, dotok slatkih voda i sl.).



Slika 1. Karakteristična vertikalna distribucija gustoće morske vode na lokaciji podmorskoga ispusta Stobreč-Split sredinom kolovoza [1]

Tablica 1. Rasponi analiziranih vrijednosti gustoća, brzina strujanja i dubine piknokline u provedenim numeričkim eksperimentima sa 2D i 3D modelima. Brzina  $u_1$  orijentirana je u smjeru N←S;  $u_2$  u smjeru S→N

num. pokus	$\rho_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_2$ (kg/m <sup>3</sup> )	$u_1$ (cm/s)	$u_2$ (cm/s)	$H_1$ (m)	$H_2$ (m)	$\rho_{\text{ovust}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$Ri_0$ (1)
2/5/10_30/2D ; 2/5/10_30/3D	1026	1028	2,5	2,5	10	30	1000	76
2/10/10_30/2D ; 2/10/10_30/3D	1026	1028	5,0	5,0	10	30	1000	19
2/15/10_30/2D ; 2/15/10_30/3D	1026	1028	7,5	7,5	10	30	1000	9
2/5/20_20/2D ; 2/5/20_20/3D	1026	1028	2,5	2,5	20	20	1000	137
2/10/20_20/2D ; 2/10/20_20/3D	1026	1028	5,0	5,0	10	20	1000	34
2/15/20_20/2D ; 2/15/20_20/3D	1026	1028	7,5	7,5	10	20	1000	15
3,5/5/10_30/2D ; 3,5/5/10_30/3D	1025	1028,5	2,5	2,5	10	30	1000	133
3,5/10/10_30/2D ; 3,5/10/10_30/3D	1025	1028,5	5,0	5,0	10	30	1000	33
3,5/15/10_30/2D ; 3,5/15/10_30/3D	1025	1028,5	7,5	7,5	10	30	1000	14
3,5/5/20_20/2D ; 3,5/5/20_20/3D	1025	1028,5	2,5	2,5	20	20	1000	240
3,5/10/20_20/2D ; 3,5/10/20_20/3D	1025	1028,5	5,0	5,0	20	20	1000	60
3,5/15/20_20/2D ; 3,5/15/20_20/3D	1025	1028,5	7,5	7,5	20	20	1000	26

Napomena: oznaka eksperimenta a/b/c\_d/nD ima sljedeće značenje: a →  $\rho_2 - \rho_1$ ; b →  $u_1 + u_2$ ; c\_d →  $H_1 - H_2$ ; nD → n -dimenzionalnost modela

2 Prigušenje miješanja u piknoklinskom sloju

Intenzitet prigušenja miješanja u piknoklinskom sloju ovisi o vertikalnim gradijentima skalarnoga polja gustoće i vektorskoga polja horizontalnih brzina strujanja. Prema [2], osnovna bezdimenzijska veličina kojom se makroskopski može iskazati parametrima intenzitet miješanja u raslojenom mediju predstavljena je tzv. *sveukupnim* gradijentnim Richardsonovim brojem ( $R_{i0}$ ), definiranim sljedećim izrazom:

$$R_{i0} = g\Delta\rho H_1 / \rho(u_1 - u_2)^2 \tag{1}$$

gdje je:

$\Delta\rho$  - razlika u gustoći površinskoga i potpiknoklinskog (pridnena) sloja ( $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$ )

$\rho_1$  - gustoća površinskoga sloja

$\rho$  - srednja gustoća površinskoga i potpiknoklinskoga sloja

$H_1$  - debljina površinskoga sloja

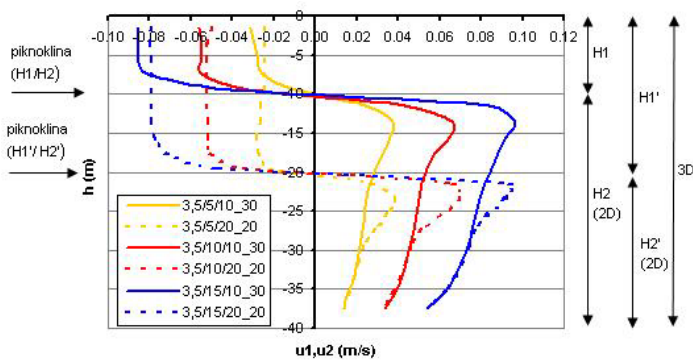
$u_1$  - horizontalna komponenta brzine strujanja u površinskom sloju

$u_2$  - horizontalna komponenta brzina strujanja u potpiknoklinskom sloju

Na temelju sinteze rezultata laboratorijskih istraživanja stabilnosti stratifikacije predstavljene u [2], moguće je za razred tečenja koji se analizira u ovom radu odrediti intenzitet miješanja  $w$  (engl: *entrainment rate*) koji je funkcija samo dvaju parametara, tj.  $R_{i0}$  i  $u_1$ .

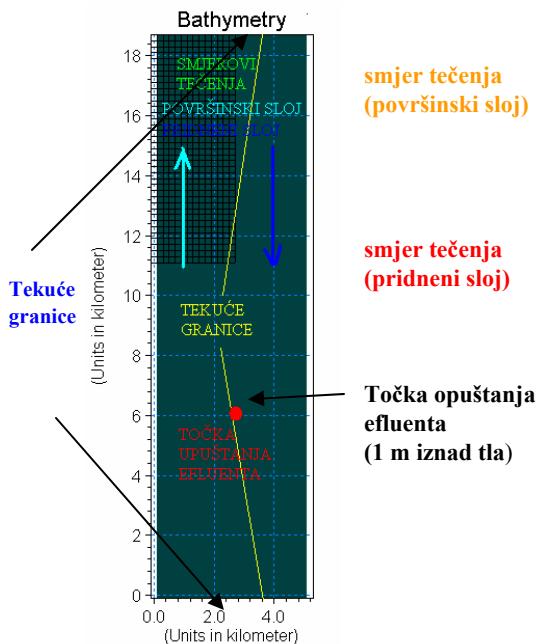
Kako bi ovaj rad imao i praktičnu vrijednost, pri provedbi numeričkih eksperimenata uporabljeni su rasponi realnih vrijednosti gustoće mora, brzina strujanja u površinskom i potpiknoklinskom sloju te dubine piknokline registrirane u razdoblju od lipnja do rujna u području Bračkog i Split-skog kanala [1, 3, 4]. U svim numeričkim eksperimentima realni početni uvjeti raslojenosti stupca mora (tj. uvjeti piknoklinskoga sloja konačne debljine) aproksimirani su lokalnim ravninskim diskontinuitetom u polju gustoće.

U tablici 1. (u kojoj su sistematizirani uvjeti numerički analiziranih situacija) vrijednosti brzina strujanja  $u_1$  i  $u_2$  odnose se na vertikalno osrednjene vrijednosti brzine tečenja u površinskom ( $u_1$ ) i potpiknoklinskom sloju ( $u_2$ ), u skladu s profilima brzina prikazanim na slici 2.

Slika 2. Vertikalni profili brzina ( $u_i$ ) u numeričkim eksperimentima iz tablice 1.

### 3 Numerički eksperimenti

U svrhu provedbe numeričkih eksperimenata s pomoću programskih paketa MIKE 21 [5, 6, 7, 9] i MIKE 3 [6, 7, 8, 9] izvedena je prostorna diskretizacija pravocrtne kanala s jednolikim pravokutnim protjecajnim presjekom ukupne duljine 18 km, širine 5 km i dubine 40 m (slika 3.), u kojem se odvija pridneno upuštanje onečišćenja u osi kanala (na 6 km odnosno 12 km udaljenosti od dvaju otvorenih rubova modela).



Slika 3. x-y (gore) i x-z (dolje) - prikaz prostorne domene numeričkoga modela

Horizontalni prostorni korak je isti za 2D i 3D model te iznosi  $\Delta x = \Delta y = 200$  m, dok je vremenski korak odabran u vrijednosti  $\Delta t = 10$  s. U 3D numeričkom modelu odabran je promjenjivi prostorni korak u ovisnosti o tri karakteristična područja u vodenom stupcu:  $\Delta z_{\text{površinski}} = 3$  m;  $\Delta z_{\text{intermedijarni}} = 2$  m;  $\Delta z_{\text{potpiknoklinski}} = 1$  m.

S obzirom na to da se 3D hidrodinamički model koristi standardnim k- $\epsilon$  modelom turbulencije koji dinamički računa i prigušuje vrijednosti koeficijenta turbulentne viskoznosti u računskim točkama modela prema formulaciji Munk-Andersona, s vrijednošću  $\beta = 10$ , [10, 11, 12], u 3D simulacijama širenja oblaka onečišćenja te su vrijednosti dinamički uporabljene za proračun koeficijenta disperzije onečišćenja, pri čemu su primijenjeni različiti redovi veličine koeficijenta proporcionalnosti za horizontalni i vertikalni smjer (1,0 i 0,1).

S druge strane, kao osnova za određivanje koeficijenta disperzije u 2D numeričkom modelu (koji apstrahira postojanje iznad piknoklinskoga sloja debljine 30 odnosno 20 metara, ovisno o eksperimentu) primijenjena je klasična Elderova formulacija [13], koja je rezultirala u izotropnim koeficijentima disperzije u provedenim numeričkim pokusima iz tablice 1.:

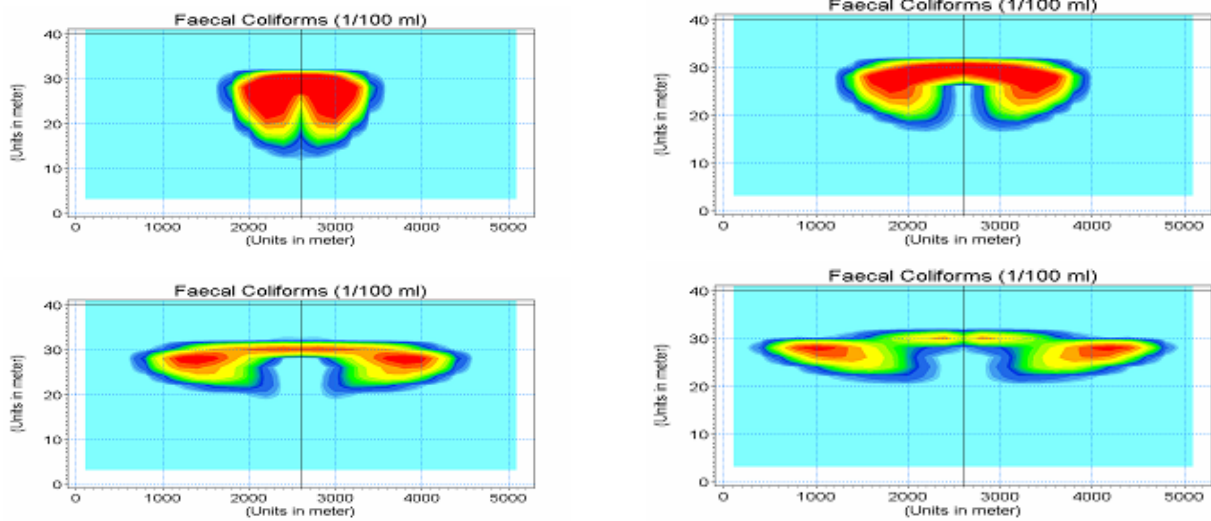
$$D_x = D_y = \begin{aligned} &= 0,8 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (pokus --/ 5/10_30/2D)} \\ &= 0,5 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (pokus --/ 5/20_20/2D)} \\ &= 1,5 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (pokus --/10/10_30/2D)} \\ &= 1,0 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (pokus --/10/20_20/2D)} \\ &= 2,3 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (pokus --/15/10_30/2D)} \\ &= 1,5 \text{ m}^2/\text{s} \text{ (pokus --/15/20_20/2D)} \end{aligned}$$

Odumiranje pridneno ispuštenoga nekonzervativnog onečišćenja (koje se točkasto ispušta s inicijalnom koncentracijom od  $10^6$  FC/100 ml na izvoru) pretpostavljeno je kao dinamički proces prvoga reda koji je ubrzan ili usporen prema nazivnoj vrijednosti ( $T_{90} = 2,9$  h) u ovisnosti o temperaturi, salinitetu i solarnoj radijaciji, prema formulaciji opisanom u [7, 14].

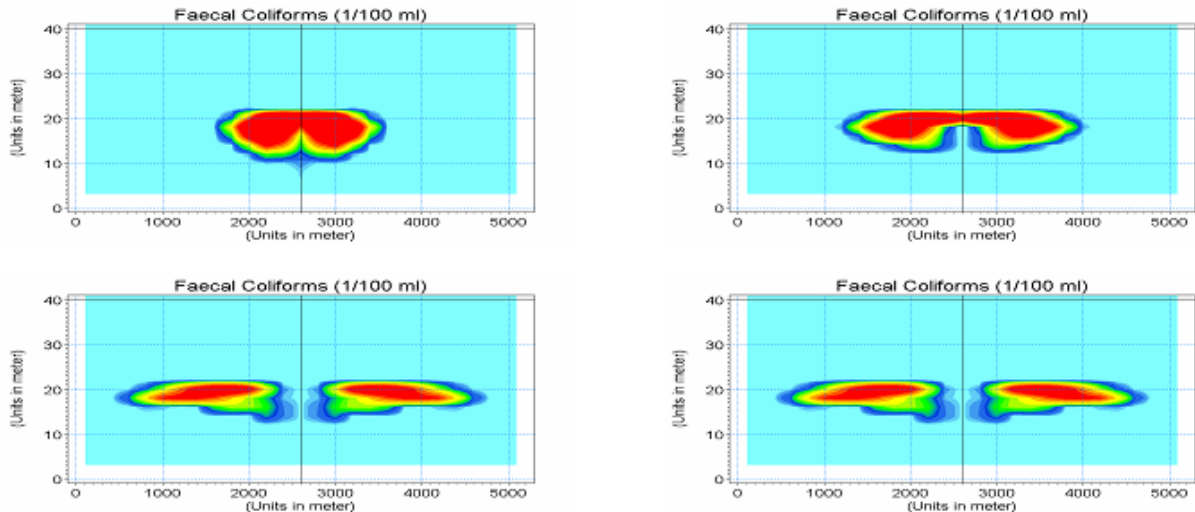
### 4 Rezultati numeričkoga eksperimentiranja

Na slikama 4. i 5. prikazani su vertikalni poprečni presjeci kroz 3D polje onečišćenja na udaljenosti 1000, 2000, 4000, 6000 m nizvodno od točke stacionarnoga ispuštanja ( $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $v_{\text{izlazno}} = 3 \text{ m/s}$ , usporedno s uzdužnom osi kanala) u numeričkim eksperimentima 3,5/15/10\_30/3D i 3,5/15/20\_20/3D. Granične konture oblaka definirane su rubnim koncentracijama od 10 FC/100 ml.

Prostorna raspodjela koncentracije onečišćenja u horizontalnom sloju na dubini 2-4 m ispod piknokline u numeričkim eksperimentima 3,5/15/10\_30/3D i 3,5/15/20\_20/3D



Slika 4. Prikaz koncentracije fekalnih koliforma u poprečnom presjeku na udaljenosti 1000 (lijevo gore), 2000 m (desno gore), 4000 m (lijevo dolje) i 6000 m (desno dolje) od lokacije pridnenoga ispuštanja onečišćenja (eksperiment 35/15/10\_30/3D → piknoklina na 10 m dubine)



Slika 5. Prikaz koncentracije fekalnih koliforma u poprečnom presjeku na udaljenosti 1000 (lijevo gore), 2000 m (desno gore), 4000 m (lijevo dolje) i 6000 m (desno dolje) od lokacije pridnenoga ispuštanja onečišćenja (eksperiment 35/15/20\_20/3D → piknoklina na 20 m dubine)

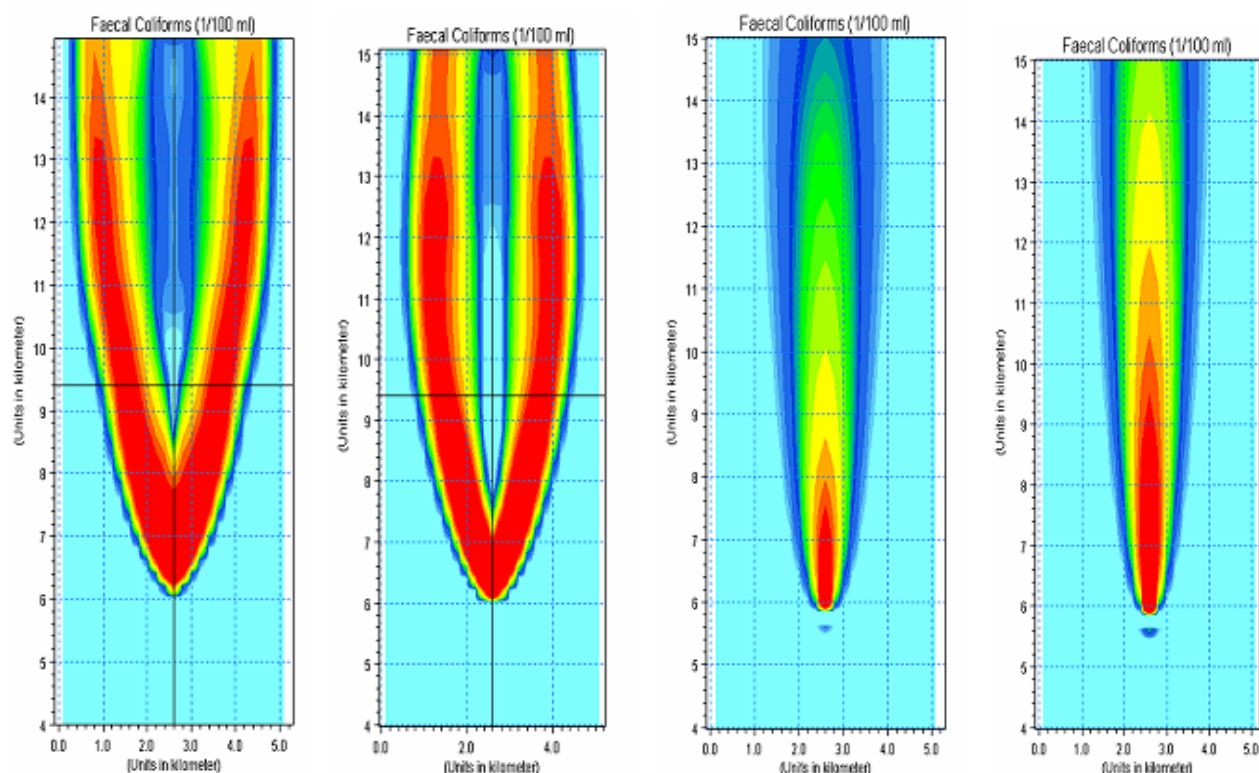
prikazana je na slikama 6. i 7., dok je na slikama 8. i 9. prikazana prostorna raspodjela za 2D numeričke eksperimente 3,5/15/10\_30/2D i 3,5/15/20\_20/2D.

Slike 10. i 11. prikazuju omjere maksimalnih ( $C_{MAX\_3D}/C_{MAX\_2D}$ ), a slike 12. i 13. omjere srednjih koncentracija ( $C_{SR\_3D}/C_{SR\_2D}$ ) u poprečnim presjecima oblaka onečišćenja na relativnoj udaljenosti  $x_i/L$  od lokacije ispuštanja u odabranim numeričkim eksperimentima ( $L = 6000$  m, tj. duljina analizirane dionice nizvodno od lokacije upuštanja efluenta). Radi jasnoće prikaza, na svim su slikama označene i interpolacijske funkcije oblika  $f(x) = A (Xi/Li)^B$ . Vrijednosti koncentracija  $C_{SR\_3D}$  i  $C_{MAX\_3D}$  odnose se samo na potpiknoklinski dio presjeka kanala, kako bi rezultati bili usporedivi s rezultatima 2D modela.

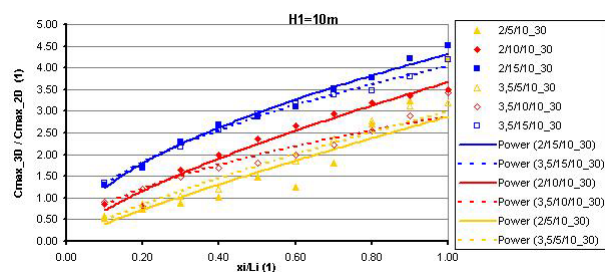
U tablici 2. prikazana je usporedba modeliranih vrijednosti za  $w$  (tzv. *entrainment rate*, brzina uvlačenja, brzina miješanja) s vrijednostima dobivenim na temelju istraživanja na fizikalnim modelima [10] za isti razred tečenja raslojenoga medija (tzv. *counter-flow*).

Rezultati predočeni u tablici 2. navode na sljedeći zaključak:

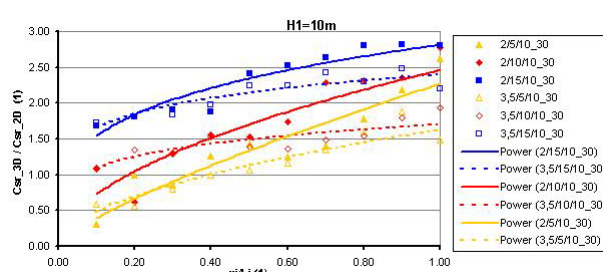
- U usporedbi s mjerenjima na fizikalnim modelima [2], numerički modelirane vrijednosti brzine uvlačenja  $w$  čine se puno manje zavisnima i od brzine tečenja u površinskom sloju ( $u_i$ ) i od vrijednosti Richardsonova broja ( $Ri_0$ ), što indicira smanjenu osjetljivost 3D modela na utjecaje dviju najvažnijih varijabli koje bi trebale dominirati pri određivanju



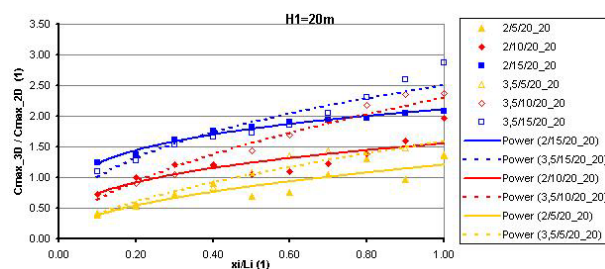
Slike 6.,7.,8. i 9. Prostorna raspodjela koncentracija fekalnih koliforma u horizontalnom sloju na dubini od 2 do 4 m ispod piknokline za 3D numeričke pokuse 3,5/15/10\_30/3D (prva s lijeve strane), 3,5/15/20\_20/3D (druga s lijeve strane) odnosno za 2D numeričke pokuse 3,5/15/10\_30/2D (treća s lijeve strane) i 3,5/15/20\_20/2D (četvrta s lijeve strane)



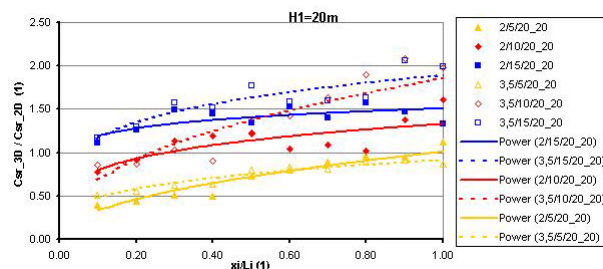
Slika 10. Omjer maksimalnih koncentracija  $C_{MAX\_3D} / C_{MAX\_2D}$  u protjecajnim presjecima na udaljenosti  $\xi/L$  od položaja upuštanja efluenta (piknoklina na 10 m dubine)



Slika 12. Omjer srednjih koncentracija  $CSR\_3D / CSR\_2D$  u protjecajnim presjecima na udaljenosti  $\xi/L$  od položaja upuštanja efluenta (piknoklina na 10 m dubine)



Slika 11. Omjer maksimalnih koncentracija  $C_{MAX\_3D} / C_{MAX\_2D}$  u protjecajnim presjecima na udaljenosti  $\xi/L$  od položaja upuštanja efluenta (piknoklina na 20m dubine)



Slika 13. Omjer srednjih koncentracija  $CSR\_3D / CSR\_2D$  u protjecajnim presjecima na udaljenosti  $\xi/L$  od položaja upuštanja efluenta (piknoklina na 20 m dubine)

veliĉine  $w$ . Razlozi takvom ponašanju modela mogu biti višestruki, pri ĉemu se primarno mogu istaknuti nedovoljno detaljna prostorna diskretizacija na razinama piknoklinskoga sloja, ili pak prejaki efekti vertikalnoga prigušenja koeficijenta turbulentne viskoznosti koji preagresivno utjeĉu na smanjenje brzine uvlaĉenja (miješanja) na suĉelju slojeva razliĉite gustoće, osobito pri manjim vrijednostima Richardsonova broja.

Tablica 2. Usporedba modeliranih vrijednosti za tzv. „entrainment rate“ ( $w$ ) s literaturnim vrijednostima [10] dobivenim fizikalnim modelima

num. eksperiment	$w$ (cm/s) – 3D	$w$ (cm/s) [2]
2/5/10_30/3D	2,6E-7	2,6E-7
2/10/10_30/3D	1,1E-6	4,2E-6
2/15/10_30/3D	3,5E-6	2,1E-5
2/5/20_20/3D	4,7E-7	1,1E-7
2/10/20_20/3D	6,4E-7	1,7E-6
2/15/20_20/3D	2,0E-6	8,8E-6
3,5/5/10_30/3D	5,4E-7	1,1E-7
3,5/10/10_30/3D	2,7E-6	1,8E-6
3,5/15/10_30/3D	5,3E-6	9,2E-6
3,5/5/20_20/3D	7,5E-7	4,7E-8
3,5/10/20_20/3D	2,1E-6	7,5E-7
3,5/15/20_20/3D	4,5E-6	3,8E-6

## 5 Zaključak

Rezultati 2D i 3D numerikoga modeliranja teĉenja i pronosa onečišćenja u stratificiranim sredinama s idealiziranom geometrijom pokazali su da se sluĉajevi miješanja u tzv. „counter-flowu“ (u uvjetima postojanja relativno tankoga stabilnoga piknoklinskog sloja na kontaktu između dvaju podruĉja s bitno razliĉitim hidrodinamiĉkim svojstvima) mogu uspješno reproducirati samo s pomoću 3D modela koji su u stanju realnije simulirati efekte prigušenja procesa uzgorskoga dizanja pridneno ispuštenoga (i specifiĉno lakšega) onečišćenja, odnosno bolje modelirati procese naglašenijega horizontalnog širenja oblaka nakon završene faze uzgorskoga dizanja.

Uspješno 3D modeliranje zadržavanja oblaka efluenta u relativno tankom podruĉju na razini piknoklinskog sloja

posljedica je uzimanja u obzir onih prigušnih procesa u piknoklinskom sloju (s oštrim diskontinuitetom u profilu gustoće) koji oĉito predstavljaju prejaku barijeru propagaciji polja onečišćenja prema površini.

Istodobno, ĉini se da je u promatranim uvjetima teĉenja u suprotnom smjeru (*counter-flow*) pojaĉano širenje oblaka (lateralno i ograniĉeno prema dolje u odnosu prema uzdužnoj osi kanala) rezultat napredovanja procesa disperzije u smjeru u kojem se formiranom paru turbulentnih „džepova“ suprotstavljaju najmanji ukupni otpori (za koje su pak primarno odgovorni gradijenti gustoće). Tome u prilog govori oĉito najveći stupanj oĉuvanosti vertikalne raslojenosti u osi kanala gdje prigušni efekti stabilne stratifikacije najizraženije prevladavaju oblak onečišćenja. Međutim, razvidno je da niti izvan piknoklinskoga sloja turbulentni procesi nisu dovoljno jaki da znatnije erodiraju formirani oblak onečišćenja, odnosno da uzrokuju pasivno miješanje i širenje po cijeloj vertikali potpiknoklinskoga sloja.

S druge strane, numerikski 2D modeli daju rezultate koji su osrednjeni po cijeloj vertikali potpiknoklinskoga sloja, što onemogućava praćenje trodimenzionalnosti polja koncentracije onečišćenja, odnosno reprodukciju zadržavanja oblaka u potpiknoklinskom sloju u debljini znatno manjoj od ukupne dubine tog dijela vodenog stupca. Krajnja posljedica oĉituje se u bitno drukĉijoj prostornoj raspodjeli koncentracija onečišćenja, s nižim maksimalnim i srednjim vrijednostima u svim popreĉnim profilima analiziranoga modela. Eventualna primjena veĉih vrijednosti transveralnoga koeficijenta disperzije rezultirala bi u boljem prostornom opisu oblaka onečišćenja, no to bi za daljnju posljedicu imalo još veće smanjenje maksimalnih i srednjih vrijednosti koncentracija onečišćenja, odnosno još naglašeniju razliku u odnosu prema vrijednostima dobivenim s pomoću 3D modela.

U nastavku predstavljenoga istraĉivanja na idealiziranim modelima s jednostavnom geometrijom, primarni će interes biti usmjeren prema modelskoj (2D i 3D) kvantifikaciji utjecaja realnih batimetrija i nestacionarnih polja strujanja na polja koncentracije pridneno ispuštenoga onečišćenja.

## LITERATURA

- [1] HHI-IOR: *Rezultati istraĉivanja mora za potrebe projektiranja podmorskog ispusta Split – Stobreĉ*, HHI/IOR-Split, 1998.
- [2] Christodoulou, G.: *Interfacial mixing in stratified flows*, Journal of hydraulic research, Vol.24(1986), 77-90.
- [3] IOR-Split: *Istraĉivanja mora za potrebe projektiranja podmorskog ispusta za I. fazu kanalizacijskog sustava Kaštela – Trogir*, IOR-Split, 2001.
- [4] [www.bo.ingv.it/ADRICOSM/](http://www.bo.ingv.it/ADRICOSM/) ; [www.izor.hr/hr/ior.html](http://www.izor.hr/hr/ior.html)

- 
- [5] DHI: *MIKE 21 - Coastal Hydraulics and Oceanography – User Guide*, 2005.
- [6] DHI: *MIKE Zero – Marine Tools – User Guide*, 2005.
- [7] DHI: *MIKE Zero – Ecological modelling – User Guide*, 2005.
- [8] DHI: *MIKE 3 - Coastal Hydraulics and Oceanography – User Guide*, 2005.
- [9] DHI: *MIKE 21/3 – Scientific Documentation*, 2005.
- [10] Odd, N., Rodger, J.: *Vertical Mixing in Stratified Tidal Flows*, ASCE-Journal of the Hydraulics Division, (vol 104-1978), 337-351.
- [11] Lončar, G.: *Hidrauličko modeliranje pronosa fizikalnih veličina – disertacija*, 2005.
- [12] Munk, W., Anderson, E.R.: *Notes on a theory of the thermocline*, Marine Research, (Vol. 7, 1948), 127-145.
- [13] Fischer, H., List, E., Koh, R., Imberger, J., Brooks, N.: *Mixing in Inland and Coastal Waters*, Academic Press, 1979.
- [14] Jorgensen, S., Bendoricchio, G.: *Fundamentals of ecological modelling*, Elsevier-academic press, 2001.