

DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2017.16>

Procjena statističkih parametara koncentracije nutrijenata generiranih rijekama u priobalju

Morena Galešić, Roko Andričević, Vladimir Divić

Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
kontakt: mgalesic@gradst.hr

Sažetak

Rijeke su svakako jedan od najvažnijih puteva prijenosa nutrijenata s kopna u obalne vode, koji potom u ušćima mogu izazvati čitav niz problema, od prekoračenja dopuštenih graničnih koncentracija do uzrokovanja pojave eutrofikacije. Provedeno istraživanje se bavi upravo analizom takvog pronosa u bliskoj zoni ušća za stacionarno stanje toka te domenu integriranu po dubini (2D). Iz osnovne advektivno difuzne jednadžbe su izvedeni statistički apsolutni momenti funkcije gustoće vjerojatnosti definirane u točki, te su potom pripadajuće funkcije rekonstruirane korištenjem beta-distribucije. Funkcije gustoće vjerojatnosti su ključan podatak za definiciju rizika od prekoračenja graničnih koncentracija, te ovakva metodologija omogućava izračun funkcije i pripadajućeg rizika u proizvoljnoj točki domene ušća. Razvijena metodologija je implementirana u user-friendly računalnu aplikaciju CPoRT koja je besplatna za korištenje, a koja je među ostalim namijenjena i podizanju svijesti o važnosti adekvatnog upravljanja količinama nutrijenata unesenih rijekama.

Ključne riječi: koncentracija zagađenja, statistički momenti koncentracije, ušća, funkcija gustoće vjerojatnosti, alat za brzu procjenu rizika od zagađenja

Estimation of statistical parameters of nutrients concentration generated in estuaries

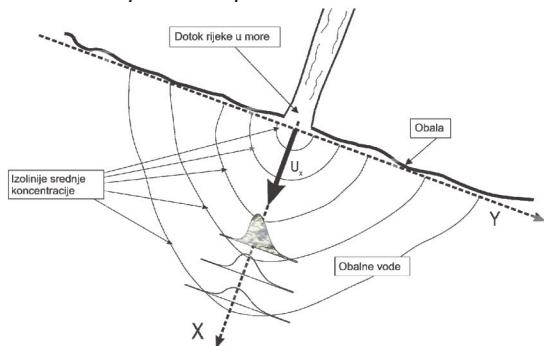
Abstract

Rivers are considered as one of the most influential pathways of nutrients which are generated inland and causing multiple problems when brought to estuaries, from exceeding the limit concentrations to eutrophication issues. This paper investigates such problem in estuary by analysing the steady transport of conservative pollutant in the near field zone of depth integrated domain (2D). The concentration moments are developed from fundamental advection-diffusion equation, and then are utilized to obtain the point concentration probability density function (PDF). PDFs are key data when conducting the risk assessment for exceeding the allowed concentration values, hence this methodology enables one to obtain PDF and corresponding exceedance probability at an arbitrary point in the estuary domain. The developed methodology is further implemented in a user-friendly PC application that is free to use and which is also designed to raise awareness about importance of adequate management of nutrients being generated and brought in by rivers.

Keywords: pollution concentration, concentration moments, estuaries, probability density function, screening tool

1 Uvod i formulacija problema

Obalne vode i posebno ušća rijeka čine iznimno kompleksne ekosustave zahvaljujući složenim hidrodinamičkim karakteristikama kao i prisutnim ekološkim procesima. Rastuća populacija u priobalju, koja iznosi oko 44 % unutar 100 km od obale [1] predstavlja značajan pritisak na već osjetljiv ekosustav bogate prirodne raznolikosti. Ljudski utjecaj ima kontinuirani porast zbog različitih potencijala koja ušća imaju počevši od poljoprivrede i akvakulture, preko prometnih aktivnosti do rekreacije. Rijeke sustavno prikupljaju nutrijente s kopna koji su posljedica poljoprivrede, industrije i stanovništva te ih unose u ušća kao opterećenja [2]. Standardi ekološke kakvoće su definirani na osnovi učestalosti pojavljivanja tvari s obzirom na korištenje pripadne vode od strane Europske komisije i najčešće su opisani graničnim koncentracijama određene tvari. Europska komisija je problem praćenja i procjene ekološkog statusa vodnih tijela definirala kroz Okvirnu direktivu o vodama – ODV [3] te je posebni dokument napravljen za priobalne ekosustave kroz Marine Strategy Framework Directive – MSFD [4]. Procjena količine zagađenja koja premašuje dopuštene koncentracije prema uputama ODV jedan je od nužnih ulaznih podataka potrebnih za konačnu definiciju rizika od eutrofikacije ili razinu osjetljivosti predmetnog akvatorija. Kod definicije količine zagađenja, nužni podaci su vrijednosti koncentracija zagađivača koji se unosi u neki akvatorij. Ključni zagađivači za rizik od eutrofikacije su nutrijenti skupnim imenom, gdje uglavnom dominiraju spojevi dušika [5]. Trenutačno dostupne metode za analizu prekoračenja predmetnog zagađenja uključuju sofisticirane modele koji iziskuju mnogo vremena i ulaznih podataka, što često implicira i skupa te zahtjevna mjerenja ili kontinuirani monitoring. Cilj je ovog rada istražiti kako se na osnovi poznavanja ulazne vrijednosti zagađenja koje rijeka nosi u relativno kontinuiranom obliku na razini godine ili sezone, može definirati njegovo širenje bliskoj zoni samog akvatorija. Na slici 1. dan je shematski prikaz formulacije problema s naznačenim pretpostavkama koje pristup uzima u obzir te dominantne fizikalne procese advekcije i turbulentne difuzije. U nastavku je sažeto prikazano kako se razvio analitički model za procjenu statističkih



Slika 1. Shematski prikaz formulacije problema

karakteristika koncentracija zagađenja uslijed nereaktivnog i stacionarnog pronosa prilikom ulijevanja rijeke u more. Navedeni model je potom implementiran u besplatnu i eng. *user-friendly* računalnu aplikaciju CPoRT (Coastal Pollution Risk Tool) koju su testirali studenti i zainteresirani dionici u upravljanju priobaljem.

2 Metodologija

Cilj ovdje prikazanog istraživanja jest izračun koncentracijskih karakteristika nereaktivnog do slabo reaktivnog zagađivača uslijed pronosa koji nastaje ulijevanjem rijeke u more. Metodologija uključuje analitički izvod statističkih momenata koncentracije takvog zagađivača, a slični pristup je već prije primijenjen u atmosferi [6] i u podzemlju [7], te su potom izračunane funkcije gustoće vjerojatnosti primjenom teorijske distribucije. Sve zajedno je u obliku računskog paketa implementirano u aplikaciju CPoRT [8].

2.1 Izvod statističkih momenata koncentracije zagađenja

U ovom radu se istražuje 2D problem bliske zone miješanja (slika 1. prikazuje karakteristike problema s naglaskom na statistički prikaz zagađenja) za slučaj kontinuiranog i stacionarnog istjecanja rijeke s nereaktivnim pronosom potencijalnog zagađivača (npr. ukupni dušik). Apsolutni statistički momenti koncentracije zagađenja (nutrijenata) izračunani su primjenom niza transformacija fundamentalne advektivno difuzne jednadžbe:

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

gdje je $c(\mathbf{x}, t)$ skalarna koncentracija u jedinici mase po volumenu, $v(\mathbf{x}, t)$ je brzina toka definirana vektorom položaja \mathbf{x} u trenutku t , a e_m je koeficijent molekularne difuzije. Na jednadžbu (1) primijenjen je niz osrednjavanja te aproksimacija bliske zone kako bi se dobili apsolutni momenti koncentracije (m_{n+1}) reda $n+1$, kao što je to opisano u [9]:

$$m_{n+1}(x) = C_0^n \bar{c}(x) + \frac{k\alpha}{U_0} e^{-\frac{k\alpha}{U_0 v} (e^{v\eta} - 1)x} \int_0^x \left(2m_n(\eta) \bar{c}_t - m_{n-1}(\eta) \bar{c}_t^2 - C_0^n \bar{c}(\eta) \right) e^{\left[\frac{k\alpha}{U_0 v} (e^{v\eta} - 1) + v\eta \right]} d\eta \quad (2)$$

gdje je C_0 koncentracija u izvoru zagađenja (ušće), $k = n(n+1)$, $\alpha = e_m / \lambda^2$, a c_t je pozadinska koncentracija medija. Parametar λ definira skalu koncentracijskog gradijenta, $\nabla c = (c - c_t) / \lambda$. Srednja brzina toka je ustaljena i definirana s $U(x) = U_0 e^{-v \cdot x}$, gdje je U_0 brzina rijeke na početku ušća i $v [m^{-1}]$ je robustan koeficijent smanjenja koji skupno predstavlja sve utjecaje koji mogu djelovati na smanjenje inicijalne brzine. Postupak

validacije razvijene metodologije uključivao je terenska mjerenja i korištenje komercijalnog numeričkog modela za pilot područje rijeke Žrnovnice [10].

2.2 Izračun funkcija gustoće vjerojatnosti

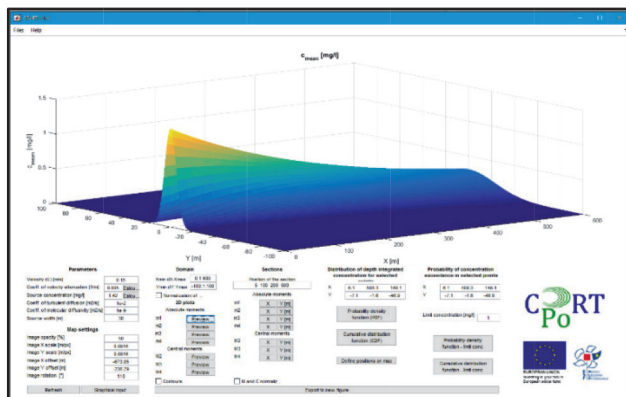
Momenti (2) su ujedno definirani općim izrazom

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

kao statistički momenti funkcije gustoće vjerojatnosti ($p(c; x, t)$) definirane u točki. Funkcija gustoće vjerojatnosti, kraće PDF prema eng. *probability density function* neke varijable, opisuje relativnu vjerojatnost da promatrana varijabla (koncentracija) uzme neku vrijednost. Koncept PDF-ova i CDF-ova prema eng. *cumulative density function* osnova je za definiciju bilo kojeg rizika u praksi. Jednom kada je definiran proizvoljan broj n apsolutnih momenata koncentracije zagađenja, PDF se može rekonstruirati iz njih putem inverzije momenata [11] gdje se zapravo vidi direktna primjena ovako dobivenih momenata. Traženi PDF se može dobiti na osnovi principa maksimalne entropije [12] ili prilagodbom teorijske distribucije putem preklapanja momenata prema (3). Potonji postupak je primijenjen korištenjem beta-distribucije [13, 14] te je radi jednostavnosti, implementiran u računalnu aplikaciju CPoRT. Primjer rezultata je dan u nastavku (slika 3.).

2.3 Računalna aplikacija za primjenu razvijene metodologije - CPoRT

CPoRT je zamišljen da bude jednostavan alat (eng. *screening tool*) za brzu detekciju potencijalnog rizika, definiranog kao prekoračenje dopuštenih vrijednosti koncentracija pojedine tvari. Aplikacija predstavlja krajnji proizvod projekta, *Procjena rizika od zagađenja uzrokovanih rijekama i ispustima u priobalju*, a koji je implementirao razvijenu metodologiju izračuna statističkih momenata i pripadajućih PDF-ova u odabranim točkama. Cilj je aplikacije bio, osim brze procjene, podignuti razinu svijesti o važnosti upravljanja količinom zagađenja koja ulazi putem rijeka te aktivno uključivanje relevantnih dionika u proces kako bi ima kasnije donošenje odluka bilo olakšano. Prototip aplikacije i grafičkog sučelja (slika 2.) izveden je u programskom paketu MA-TLAB 2012a [15].

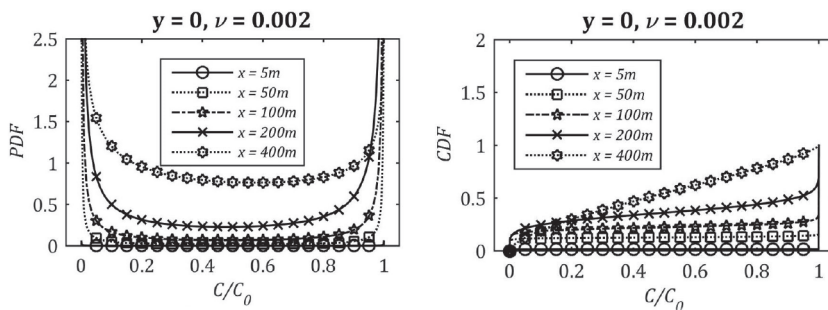


Slika 2. Grafičko sučelje CPoRT aplikacije, s prikazom integriranog rezultata za srednju vrijednost koncentracije

Grafičko sučelje aplikacije zamišljeno je kao više prozora od kojih je prvi i glavni ujedno početni prozor aplikacije. U sklopu tog prozora nalazi se prostor za upravljanje parametrima simulacije, dio vezan uz prikaz ploha i grafova te izborna traka sa standardnim opcijama za Windows aplikacije.

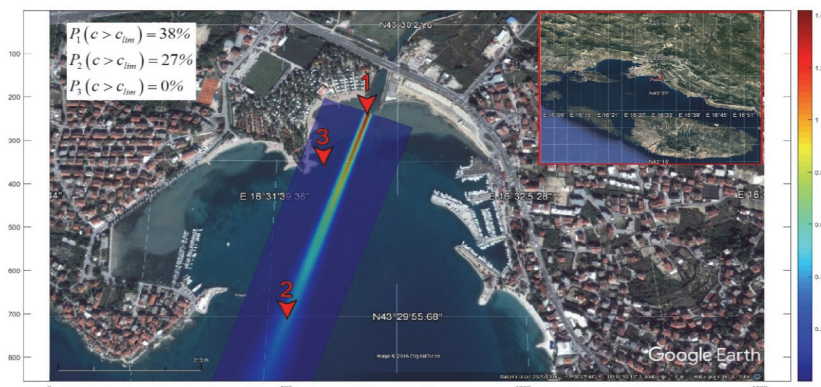
3 Rezultati

U nastavku su dani primjeri rezultata u obliku izračunanog PDF-a i CDF-a (slika 3) korištenjem prvog i drugog momenta te beta-distribucije kako je to rečeno u poglavlju 2, te detaljno opisano u [9].



Slika 3. Primjer izračunanog PDF-a i CDF-a, prema [9]

Nastavo je dan i primjer rezultata u kontekstu implementirane primjene razvijene metodologije uz pomoć CPoRT aplikacije. Dakle, izvedena je procjena rizika od prekoračenja granične koncentracije ukupnog dušika (prema hrvatskoj regulativi 1 mgN/l) na primjeru pilot – područja – ušća rijeke Žrnovnice (slika 4) gdje je početna koncentracija ukupnog dušika iznosila 1,42 mg/l (prema smjernicama [16]).



Slika 4. Primjer proračuna vjerojatnosti prekoračenja granične koncentracije ukupnog dušika za lokaciju ušća rijeke Žrnovnice (preuzeto iz [17])

4 Zaključak i buduće smjernice

U radu je prikazano rješenje i računalna aplikacija za 2D problem stacionarnog i nereaktivnog pronosa zagađenja unesenog rijekama u ušće, kojima nedostaju sposobnosti detaljnog i preciznijeg proračuna koji uobičajeno imaju hidrodinamički modeli. Ipak, zahvaljujući svojoj jednostavnosti i oslanjanju na razvijeni analitički pristup, proračun se izvodi u nekoliko minuta s minimalnim brojem potrebnih ulaznih parametara. CPORT zbog toga nalazi svoje mjesto kao aplikacija za edukaciju, ali i brzu procjenu stanja nekog područja te pomoć donositeljima odluka pri shvaćanju glavnog problema. Nastavak istraživanja uključuje prostornu integraciju statističkih parametara koja će omogućiti novi pristup pri definiranju stupnja razrijeđenosti zagađenja te parcijalnog opterećenja dijela akvatorija s obzirom na ulaznu masu zagađivača.

Literatura

- [1] Cohen, J.F., Small, C., Mellinger, A., Gallup, J., Sachs, J.: Estimates of coastal populations, *Science*, 80 (1997) 278, pp. 1211–1212, doi:10.1126/science.278.5341.1209c.
- [2] Rabalais, N.N., Turner, R.E., Díaz, R.J., Justić, D.: Global change and eutrophication of coastal waters, *ICES J Mar Sci*, 66(2009), pp. 1528–1537.
- [3] Decision C.: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Off J Eur Communities*, 1 (2000), pp. 1–33.
- [4] Decision C.: Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council. *Off J Eur Union*, 164 (2008), pp. 19–40.

- [5] Galloway, J.N., Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, S.P., et al.: Nitrogen cycles : past, present and future, *Biogeochemistry*, 70 (2004), pp. 153–226, doi:10.1007/s10533-004-0370-0.
- [6] Sullivan, P.J.: The influence of molecular diffusion on the distributed moments of a scalar PDF. *Environmetrics*, 15 (2004), pp. 173–191, doi:10.1002/env.633.
- [7] Andricevic, R.: Exposure concentration statistics in the subsurface transport. *Adv Water Resour*, 31 (2008), pp. 714–725, doi: 10.1016/j.advwatres.2008.01.007.
- [8] CPoRT web n.d. <http://www.cpothr.com>.
- [9] Galešić, M., Andričević, R., Gotovac, H., Srzić, V.: Concentration statistics of solute transport for the near field zone of an estuary. *Adv Water Resour*, 94 (2016), pp. 424–440. doi:10.1016/j.advwatres.2016.06.009.
- [10] Galešić, M., Andričević, R., Divić, V., Mateus, M., Pinto, L.: Potential data used for validation of concentration statistics obtained using analytical model for conservative transport in an estuary. *EGU Gen. Assem. Conf. Abstr.*, 18 (2016).
- [11] Sullivan, P.J., Ye, H.: Moment inversion for contaminant concentration in turbulent flows. *Can Appl Math Q*, 4 (1996), pp. 301–10.
- [12] Gotovac, H., Gotovac, B.: Maximum entropy algorithm with inexact upper entropy bound based on Fup basis functions with compact support. *J Comput Phys*, 228 (2009), pp. 9079–9091, doi:10.1016/j.jcp.2009.09.011.
- [13] Chatwin, P.C., Lewis, D.M., Mole, N.: Practical statistical models of environmental pollution. *Math Comput Model*, 21 (1995), pp. 11–4.
- [14] Schwede, R.L., Cirpka, O.A., Nowak, W., Neuweiler, I.: Impact of sampling volume on the probability density function of steady state concentration. *Water Resour Res*, 44 (2008), pp. 1–16, doi:10.1029/2007WR006668.
- [15] Mathworks, Matlab 2012.
- [16] Grizzetti B., Bouraoui, F.: Assessment of Nitrogen and Phosphorus Environmental Pressure at European Scale. 2006.
- [17] Galešić, M., Andričević, R., Divić, V., Šakić Trogrlić, R.: New screening tool for obtaining concentration statistics of pollution generated by rivers in estuaries. 15th Conf. Environ. Sci. Technol. CEST 2017, 2017.