

SDHI



IAHR

**14. SAVETOVANJE SDHI
13 - 15 NOVEMBAR 2006.
FRUŠKA GORA**

PREDGOVOR

RADOVI PO AUTORU

TEME SAVETOVANJA

PROFESOR HAJDIN

Za gledanje radova neophodno je da imate instaliran Adobe Reader koji možete preuzeti

klikom na sliku



Za gledanje animacija u radovima, preuzmite kodek [ovde](#)

Predgovor

Poštovane kolegice i kolege,

Pred Vama je pregled radova predviđenih za prikazivanje na 14. savetovanju Srpskog društva za hidraulička istraživanja. Pored Sadržaja dati su i apstrakti, na srpskom i engleskom jeziku.

U periodu od prošlog Savetovanja, radilo se dosta u oblasti hidrauličkih istraživanja, o čemu svedoči i značajan broj radova, preko 50. Pouzdano znam da je bilo još želja da se ponešto od aktuelnih istraživanja prikaže, ali i nedovoljno vremena da se sve završi na vreme. Autorima koji su propustili da to urade sada, savetujem da bolje planiraju sledećeg puta.

Primetićete da smo kao Društvo, promenili i ime, i to drugi put posle Savetovanja u Sokobanji 2002. godine. Pre dve godine, na proslavi 50 godina od osnivanja Jugoslovenskog društva za hidraulička istraživanja, dogovorili smo se da se zovemo: Društvo za hidraulička istraživanja - Srbija i Crna Gora (DHI-SCG), a sada smo: Srpsko društvo za hidraulička istraživanja (SDHI). Nadamo se da će tako i ostati.

Ovo je prvi put da se radovi ne štampaju u kompletnom obliku. U ovoj knjižici daju se apstrakti, na srpskom i engleskom, podeljeni u devet tematskih celina, a na disku, kompletno. To je omogućilo da prihvatimo i radove sa većim brojem strana, nego što je to bio ranije slučaj, a da kvalitet slika, dijagrama i animacija, ostane onakav kako su ga dostavili autori. Troškovi pripreme Savetovanja su značajno niži, a i rok za prihvatanje radova je bio mnogo fleksibilniji.

Prvi u nizu radova je pregledni rad prof. Georgija Hajdina. Pored ovog rada, a u dogovoru Organizacionog odbora i Autora, napravljen je izbor najinteresantnijih radova prof. Georgija Hajdina, i prebačen u elektronski oblik. Dvadesetak radova objavljenih u periodu od pola veka, biće na ovaj način ponovo dostupni stručnoj javnosti. Za većinu učesnika Savetovanja, oni će biti interesantniji od radova prikazanih u zvaničnom programu, jer su bliži svakodnevnim hidrotehničkim problemima. Utisak je da smo se u istraživanju i pisanju radova odvojili od "standardnih" hidrauličkih tema, govorimo o visokim tehnologijama, novim metodologijama i direktivama. Zaboravljamo da je naša odgovornost, kao Društva, da se i osnovna hidraulička znanja održe, prošire i prenesu drugima. Merenje proticaja, određivanje opterećenja hidrotehničkih konstrukcija, određivanje propusne moći objekata i slično, i danas su aktuelni barem onoliko, kao što su bili u vreme kada su radovi pisani.

Posebno raduje veliki broj mladih istraživača, koji prvi put učestvuju na Savetovanju, sa veoma interesantnim i kvalitetnim radovima. Uz radove srednje generacije i „veterana“, koji su takodje dali značajan doprinos, imaćete zanimljivo štivo za čitanje.

Beograd, 6. novembar 2006. god.

Predsednik Društva

Prof. dr Marko Ivetić

PREDGOVOR

RADOVI PO AUTORU

TEME SAVETOVANJA

PROFESOR HAJDIN

1. *Georgije Hajdin*

Uslovi i uputstva za hidraulički račun sabirnog kanala u koga voda preliva sa njegovog boka

2. *Biljana Trajković, Nataša Marinković, Relja Orlić*

Evakuacija velikih voda na brani TaqTaq u Iraku

3. *Dragiša Žugić, Radomir Kapor, Vladimir Pop Trajković, Novica Petrović, Milan Rula*

Hidraulička modelska ispitivanja stepenastog preliva na dva modela različitih razmera

4. *Ljubodrag Savić, Vladan Kuzmanović, Bojan Milovanović*

Procena položaja i dimenzija eroziona jame ski odskoka

5. *Biljana Trajković*

Eksperimentalno istraživanje uticaja podvodnog vertikalnog mlaza na nekoherentnu podlogu

6. *Budo Zindović, Miodrag Jovanović, Radomir Kapor, Dušan Prodanović, Dejana Đorđević*

Oblikovanje ulaza u zaliv primenom modela ravanskog i prostornog tečenja

PREDGOVOR

RADOVI PO AUTORU

TEME SAVETOVANJA

PROFESOR HAJDIN

7. *Miodrag Jovanović*

Ocena rizika od erozije rečnog korita oko mostovskih stubova

8. *Dejana Đorđević*

Uporedna analiza rezultata dobijenih ortogonalnih i neortogonalnih mreža u modelima prostornog tečenja

9. *Ljubomir Budinski, Miodrag Spasojević*

Rešavanje jednačina ravanskog toka metodom razlomljenih koraka

10. *Ana Mijić, Marko Ivetić, Dušan Prodanović*

Analitička optimizaciona metoda u modeliranju vodovodnih sistema

11. *Ljubomir Budinski, Ljubodrag Savić*

Numeričko modeliranje brzotoka pri suženju i proširenju korita

12. *Ljubomir Budinski, Ljubodrag Savić*

Primena ravanskog modela na brzotok u krivini

13. *Dragan Tutulić*

Korišćenje numeričkih modela u cilju poboljšanja kvaliteta voda u recipijentima

14. *Dušan Prodanović*

Merenje malih brzina u terenskim uslovima

15. *Nemanja Branisljević, Dušan Prodanović*

Large Scale Particle Image Velocimetry – merenje urbanog oticaja

16. *Dragiša Žugić*

Merenje protoka tehnološke i otpadne vode ultrazvučnim meračem protoka na bazi Doplerovog efekta

PREDGOVOR

RADOVI PO AUTORU

TEME SAVETOVANJA

PROFESOR HAJDIN

14. SAVETOVANJE SDHI
13 - 15 NOVEMBAR 2006.
FRUŠKA GORA

PREDGOVOR

17. *Miroslav Benišek, Milan Božić, Dejan Ilić, Đorđe Čantrak*

Eksperimentalna hidraulička ispitivanja karakteristika cevne turbine HE "Đerdap II"

RADOVI PO AUTORU

18. *Dragiša Žugić, Radomir Kapor, Vladimir PopTrajković*

Hidraulička modelska ispitivanja kosog doticanja vode ka turbinama hidroelektrane pod nepovoljnim uglom

TEME SAVETOVANJA

19. *Aleksandar Gajić, Radenko Rajić*

Projekat profitabilnih poboljšanja hidroenergetskih sistema

PROFESOR HAJDIN

14. SAVETOVANJE SDHI
13 - 15 NOVEMBAR 2006.
FRUŠKA GORA

PREDGOVOR

20. *Slobodan Petković, Marina Babić-Mladenović, Jasminka Petrašković Džuklevski*

Poreklo i transport vučenog nanosa u južnoj Moravi

RADOVI PO AUTORU

21. *Marina Babić-Mladenović*

Metod za proračun pronosa nanosa na sektoru reke Dunav uzvodno od Novog Sada

TEME SAVETOVANJA

22. *Jasna Muškatirović*

Prognoza transporta vučenog nanosa u planinskim rečnim tokovima

PROFESOR HAJDIN

23. *Sava Petković, Uroš Tatomir, Simo Petković*

Monitoring plaža u Crnoj Gori

24. *Sava Petković, Radomir Kapor*

Numeričko modeliranje propagacije talasa u zoni objekata u moru

25. *Ivana Dmitrović, Wouter Bijman*

Unapređenja plovidbe na Dunavu primenom regulacionih radova

26. *Sandra Prohaska*

Karakteristični istorijski hidrološki scenariji za reku Labu

27. *Ivan Tanasković, Srđan Kolaković*

Uspostavljanje prognostičkog modela Dunava korišćenjem pogramskog paketa HEC-RAS na deonici Apatin (1401.40 km) – Bogojevo (1367.40 km)

28. *Dragan Milićević, Slobodan Milenković, Veljko Nikolić*

Uloga modeliranja vodovodnih sistema u planiranju proširenja/rekonstrukcije sistema na primeru Prokuplja

29. *Dejan Dimkić, Jovan Josipović*

Višenamenski sistem Zabrega na Crnici za opštine Jagodina, Čuprija i Paraćin

30. *Ana Mijić, Dušan Prodanović, Bata Jožef*

Upravljanje radnim pritiskom u cilju smanjenja gubitaka

31. *Dušan Kostić, Marko Ivetić*

Hidraulička analiza rada rasteretnih preliva u opštem sistemu kanaliziranja

32. *Čaba Šanta, Gergely Fabry*

Vakumski sistem kanaliziranja upotrebljenih voda

33. *Goran Sekulić, Ivana Čipranić*

Problematika modeliranja gubitaka u vodovodnim sistemima

34. *Matija Stipić, Radivoj Ilić, Rihard R. Šranc*

Potrebe za protivpožarnom vodom iz vodovodnog sistema Novog Sada

35. *Eleonora Mirkov, Miroslav Popović*

Hidraulička analiza viših delova vodovoda naselja Bukovac

36. *Dejan Dimkić, Goran Mitrović*

Dovodni cevovod Paljevskog (Bruskog) sistema

14. SAVETOVANJE SDHI
13 - 15 NOVEMBAR 2006.
FRUŠKA GORA

37. *Lajoš Hovanj*

Problem opažanja podzemne vode kopanih bunara na slivu Palićkog jezera

38. *Boris Jandrić, Marko Ivetić*

Stohastičko modeliranje eksploatacije izvorišta podzemnih voda

39. *Svetlana Vujović, Srđan Kolaković*

Monitoring površinskih i podzemnih voda

PREDGOVOR

RADOVI PO AUTORU

TEME SAVETOVANJA

PROFESOR HAJDIN

14. SAVETOVANJE SDHI
13 - 15 NOVEMBAR 2006.
FRUŠKA GORA

PREDGOVOR

40. *Budo Zindović, Miodrag Jovanović, Radomir Kapor, Dušan Prodanović*

Modeliranje kvaliteta vode u zalivu primenom modela ravanskog tečenja

RADOVI PO AUTORU

41. *Miodrag Jovanović, Radomir Kapor, Dušan Prodanović, Budo Zindović*

Numerička simulacija koncentrisanog ispuštanja izbagerovanog nanosa u maticu reke

TEME SAVETOVANJA

42. *Ronald Lai Hong Ho, Čedo Maksimović*

Mogućnosti i ograničenja modeliranja plavljenja u gradovima usled kiša pomoću InfoWorks Ver7.5

PROFESOR HAJDIN

43. *João P. Leitão, Dušan Prodanović, Čedo Maksimović*

Priprema digitalnog modela terana (DTM) za analizu površinskog tečenja i poplava u urbanim sredinama

44. *Biljana Potkrajac, Marko Ivetić*

Hidraulička analiza transporta zagađenja u Savi i Dunavu u zoni Beograda

45. *Surajate Boonya-aroonnet, Dušan Prodanović, Čedo Maksimović*

Novi pristup modeliranju površinskog tečenja za analizu (pluvijalnog) plavljenja urbanih površina

46. *Vanja Damjanović, Nemanja Branislavljević, Radomir Kapor*

Uticaj kanalizacionih ispusta na kvalitet vode Topčiderske reke

47. *Svetlana Vujović, Srđan Kolaković*

Problematika otpadnih voda i evropske direktive



14. SAVETOVANJE SDHI
13 - 15 NOVEMBAR 2006.
FRUŠKA GORA

PREDGOVOR

48. *Zoran Kapelan, Dragan Savić, Orazio Giustolisi, Luigi Berardi*

Razvoj matematičkih modela za predviđanje broja kvarova na vodovodnim i kanalizacionim cevima upotrebom EPR-a

RADOVI PO AUTORU

49. *Željka Ostojić, Dejan Ljubisavljević, Bojan Milovanović*

Model generator potreba za vodom i hidraulički simulacioni model vodovodne mreže

TEME SAVETOVANJA

50. *Ana Pavlović, Srđan Kolaković*

Mapiranje hidrometeoroloških mernih stanica Vojvodine

PROFESOR HAJDIN

51. *Enika Gregorić*

Neke mogućnosti primene GIS-a za utvrđivanje efikasnosti kanalskih mreža hidromeliorativnih sistema

52. *Dušan Petrovački, Milan Vrtunski, Aleksandar Ristić*

Koncept primene GPS tehnologije u mapiranju podzemne infrastrukture

53. *Aleksandar Ristić, Dušan Petrovački, Milan Vrtunski*

Primena Georadara i GPS tehnologije u detekciji podzemne infrastrukture i karakteristika zemljišta

Oblikovanje ulaza u zaliv primenom modela ravanskog i prostornog tečenja

UDK: 622.037(282)+359.42

Budo Zindović¹
Miodrag Jovanović²
Radomir Kapor³
Dušan Prodanović⁴
Dejana Djordjević⁵

APSTRAKT: Najveći problem zaliva je zasipanje - prirodan proces koji se ne može izbeći. Visoki troškovi održavanja zaliva (bagerovanja mulja i čišćenja obala) nameću potrebu mera za smanjenje uvlačenja nanosa u zaliv. Budući da je uzrok zasipanja mešanje rečne vode opterećene nanosom i vode zaliva, smanjenjem količine vode koja dospeva u zaliv može se smanjiti zasipanje. Ovaj problem se može rešiti određivanjem najpovoljnijeg oblika ulaza u zaliv. U ovom radu je prikazano oblikovanje ulaza pomoću modela ravanskog i prostornog tečenja. Kao primer, prikazani su rezultati koji se odnose na oblikovanje ulaza u Čukarički zaliv.

Ključne reči: model ravanskog tečenja, model prostornog tečenja, metod konačnih elemenata, oblikovanje ulaza u zaliv

Designing a Bay Entrance With 2D and 3D Numerical Model

ABSTRACT: Bays suffer from siltation, which is a natural process that cannot be avoided. Main cause of this process is mixing of river-water containing suspended sediment and water of a river-bay. High costs of maintenance - dredging and disposal of contaminated sludge indicate that siltation process must be reduced. Therefore by reducing the amount of river-water and bay-water mixing, siltation can be significantly scaled down. Such problem can be solved by determining an optimal designing of bay entrance. This paper deals with the problem of defining a shape of bay entrance using 2D and 3D numerical model. For illustration, results pertaining to the design of entrance of Čukarica Bay, are presented.

Key words: 2D numerical model, 3D numerical model, finite-element method, designing bay entrance

¹Asist. Budo Zindović, dipl. inž. gradj., Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu,
e-mail: bzindovic@hikom.grf.bg.ac.yu

²Prof. dr Miodrag Jovanović, dipl. inž. gradj., Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu,
e-mail: mjovanov@grf.bg.ac.yu

³Doc. dr Radomir Kapor, dipl. inž. gradj., Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu,
e-mail: rkapor@hikom.grf.bg.ac.yu

⁴Doc. dr Dušan Prodanović, dipl. inž. gradj., Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu,
e-mail: eprodano@hikom.grf.bg.ac.yu

⁵Asist. mr Dejana Djordjević, dipl. inž. gradj., Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu,
e-mail: dejana@grf.bg.ac.yu

1 Uvod

Ovaj rad je inspirisan konkretnim problemom iz prakse. Kao što je poznato, pregradjivanjem Čukaričkog rukavca, formirano je Savsko jezero, dok je nizvodni kraj nekadašnjeg rukavca, Čukarički zaliv, ostao otvoren prema reci Savi. Ovaj zaliv se zasipa nanosom iz reke Save, što je naročito izraženo u zoni ulaza, gde su formirani sprudovi. Postavljen je zadatak da se odredi optimalan oblik ulaza sa stanovišta uvlačenja nanosa i smanjenja zasipanja, vodeći računa o projektu novog mosta i plovnom gabaritu za buduću marinu.

2 Numerički model

2.1 Model za proračun hidrodinamičkih veličina

Za potrebe oblikovanja ulaza u Čukarički zaliv su primenjeni modeli ravanskog i prostornog tečenja. Jednačine matematičkog modela ravanskog tečenja su prikazane u [8, 9, 10, 12]. Model prostornog tečenja je upotrebljen da bi se proverili rezultati dobijeni modelom ravanskog tečenja. Prostorno ustaljeno tečenje se opisuje Rejnoldsovim jednačinama koje čine jednačina održanja mase i održanja količine kretanja u tri koordinatna pravca [3, 4, 12]:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_T \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \delta_{ij} k \right) \quad (2)$$

($i, j = 1, 2, 3$).

U prethodnim jednačinama su korišćene sledeće oznake: (x_1, x_2, x_3, t) - prostorne koordinate i vreme, (u_1, u_2, u_3) - komponente brzine u (x_1, x_2, x_3) pravcu, p - pritisak.

U modelu se koristi "k- ε " model turbulencije, gde je veličina k - kinetička energija turbulencije, a ε - brzina njenog rasipanja (disipacije). Veza ovih parametra se definiše preko koeficijenta turbulentne viskoznosti:

$$\nu_T = C_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (3)$$

gde je C_μ - empirijska konstanta.

Veličine k i ε se određuju rešavanjem transportnih jednačina :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

gde je P_k proizvodnja (produkcija) kinetičke energije turbulencije:

$$P_k = \frac{\nu_T}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

a $C_\mu = 0.09$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$ i $\sigma_\varepsilon = 1.3$ - empirijske konstante.

2.2 Ulazni podaci

Da bi sistem jednačina (1) - (6) bio rešiv, potrebno je zadati vrednosti zavisnih promenljivih na granicama i odrediti vrednosti parametara modela.

Granični uslovi. Kod modela ravanskog tečenja je potrebno zadati vrednosti zavisnih promenljivih na granicama računске oblasti. Na uzvodnoj je zadat protok od $1350 \text{ m}^3/\text{s}$, a na nizvodnoj kota nivoa 70.15 mm . Kod modela prostornog tečenja se osim uzvodnog i nivodnog graničnog uslova zadaju i uslovi na čvrstoj granici i na slobodnoj površini vode. Komponente brzine upravne na čvrstu granicu i slobodnu površinu vode su jednake nuli (uslov „sa klizanjem“). Definisane graničnih uslova za jednačine „ k - ε “ modela je složenije. Na osnovu poznate brzine se prvo sračuna srednja vrednost koeficijenta turbulentne viskoznosti [14]:

$$\nu_T = 0.11 u_* h, \quad (7)$$

a zatim korišćenjem izraza:

$$k = \frac{u_*}{\sqrt{C_\mu}} \quad (8)$$

sračuna vrednost kinetičke energije turbulencije na dnu. Uz pretpostavke da je vrednost „ k “ na slobodnoj površini jednaka polovini vrednosti sa dna i da se menja linearno po dubini toka [14], moguće je sračunati raspored kinetičke energije turbulencije u ulaznom i izlaznom profilu. Kinetička energija turbulencije na slobodnoj površini za je jednaka nuli, dok se za brzinu rasipanja kinetičke energije zadaje nulta vrednost njenog prvog izvoda.

2.3 Parametri stabilnosti korita

U zavisnosti od trenutnih hidrauličkih uslova u vodotoku, nanos se može kreirati u vidu suspenzije („suspendovani“ ili „lebdeći“ nanos), ili skokovito, klizanjem i kotrljanjem po dnu („vučeni nanos“). Ova podela je uslovnog karaktera, jer se u zavisnosti od turbulencije toka, isti materijal može u jednom periodu kretati u vidu suspendovanog, a u drugom periodu u vidu vučenog nanosa. Kako je zastupljenost vučenog nanosa u velikim aluvijalnim vodotocima najviše 10% od ukupne količine nanosa, predmet psamoloških analiza je, uglavnom, suspendovani nanos. Ključna je procena stabilnosti suspenzije, od čega zavisi mogućnost istaložavanja čestica suspendovanog nanosa i formiranje sprudova. Ova procena je naročito važna za zonu ulaza u zaliv, kada pri svim hidrološkim uslovima postoji tendencija unošenja nanosa iz matice reke i njegovog istaložavanja.

Kao indikator potencijalnog taloženja suspendovanog nanosa, koristi se odnos u_*/W , gde je smičuća brzina toka definisana na sledeći način:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = n\sqrt{g} \frac{U}{h^{1/6}}, \quad (9)$$

a W je brzina tonjenja zrna, koja zavisi od krupnoće čestice i njenog mineralnog sastava, odnosno gustine.

Analizom granulometrijskog sastava nanosa [9, 11], usvojeni su merodavni prečnici zrna. Za usvojene prečnike zrna, određene su brzine tonjenja (Tabela 1).

Generalno, istaložavanje suspendovanog nanosa može se očekivati ako je [13] :

$$\frac{u_*}{W} < 1. \quad (10)$$

Stabilnost rečnog korita se može *kvalitativno* analizirati na osnovu prostornog rasporeda vrednosti indikatora u_*/W , imajući u vidu kriterijum (10). Raspored vrednosti u_*/W ukazuje na oblasti potencijalnog zasipanja, ili potencijalne erozije. Jasno je da se navedeni raspored može odrediti samo za poznato strujno polje, odnosno za prethodno sračunat prostorni raspored brzine i dubine pri određenom protoku u reci.

Tabela 1: Brzine tonjenja nanosa za merodavne prečnike zrna

d [mm]	W [cm/s]
0.05	0.12
0.01	0.47
0.02	1.75

3 Računske varijante

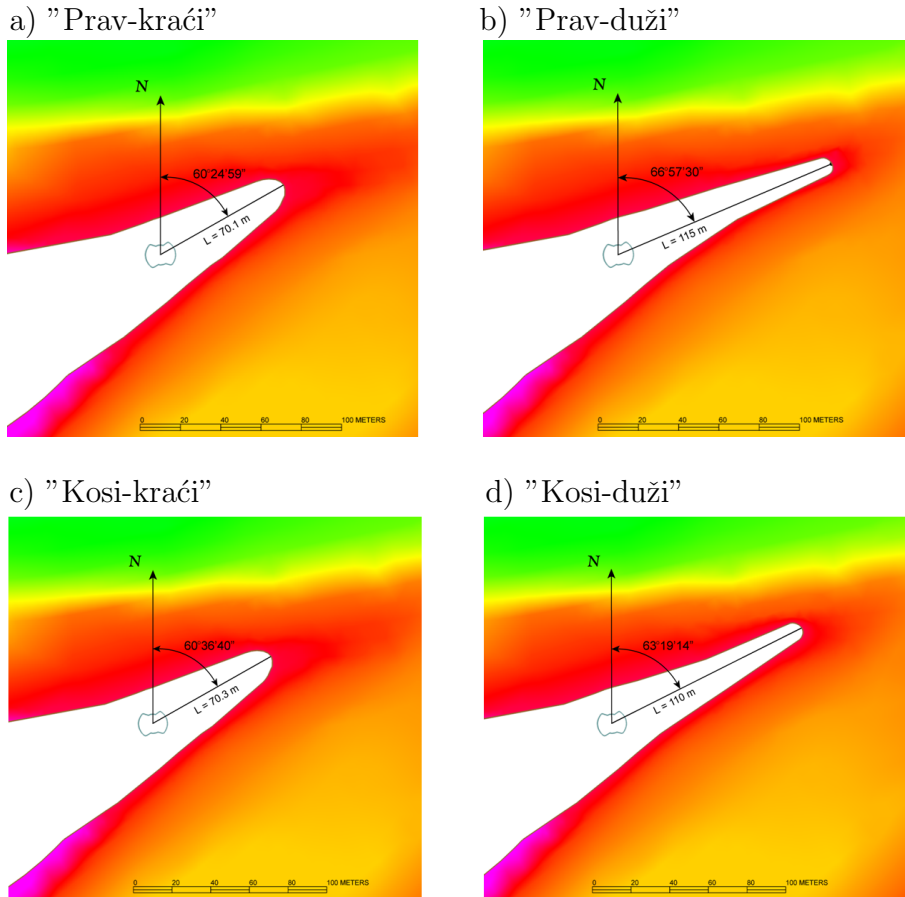
Osnovni kriterijum za oblikovanje ulaza u Čukarički zaliv je smanjenje unošenja nanosa iz reke Save, a time i smanjenje zasipanja ovog dela Zaliva. Imajući u vidu da zbog prirodne tendencije zasipanja desne obale ulaza Čukaričkog zaliva, nije racionalno uklanjanje postojećeg spruda, linija obale je prilagodjena tom sprudu [8]. Oblik leve obale ulaza tj. nizvodnog kraja Ade Ciganlije je analiziran, vodeći računa o osnovnom kriterijumu smanjenja uvlačenja nanosa. Generalno, smanjenje širine ulaza ispunjava taj zahtev, što je moguće izvesti samo produženjem nizvodnog kraja Ade ili njegovim produženjem, pri čemu se nizvodni kraj pomera ka sredini korita Save. Ovo rešenje je inspirisano oblikom usmeravajuće gradjevine na ulazu u bazen Luke "Beograd", koji je određen pomoću fizičkog modela [6]. Takodje su uzete u obzir i preporuke iz literature [7]. Oblik leve obale je određen za merodavan protok od 1350 m³/s, što odgovara protoku srednje vode reke Save za posmatranu deonicu. Na Slici 1 su prikazani ispitani oblici nizvodnog kraja Ade Ciganlije.

4 Rezultati primene numeričkog modela

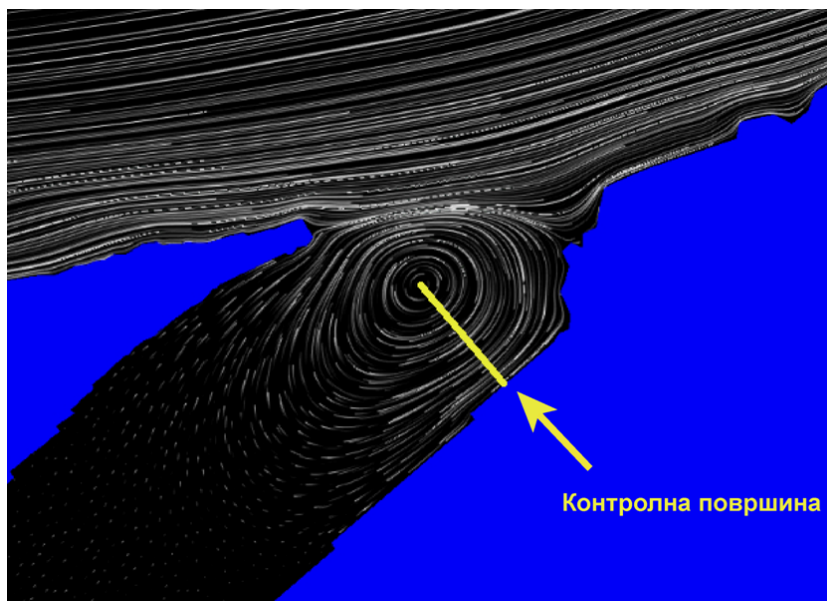
4.1 Rezultati hidrodinamičkih proračuna

Za određivanje optimalnog oblika ulaza, korišćeni su rezultati dobijeni primenom modela ravanskog i prostornog tečenja.

Karakteristika svakog zaliva je formiranje recirkulacione (vrtložne) zone na ulazu. Oblik i dimenzije ulaza bitno utiču na veličinu ove zone i na količinu nanosa koju vrtlog uvlači u zaliv. Ova količina je proporcionalna protoku vode u vrtložnoj zoni kroz kontrolni presek prikazan na Slici 2.



Slika 1: Ispitani oblici geometrije ulaza u Zaliv. Varijante su nazvane tako da asocijaju na pravac ("Prav" i "Kosi") i dužinu ("Kraći" i "Duži") nizvodnog kraja Ade Ciganlije



Slika 2: Vrtložna zona formirana na ulazu u Zaliv pri protoku srednje vode od $1350 \text{ m}^3/\text{s}$ sa položajem kontrolnog preseka

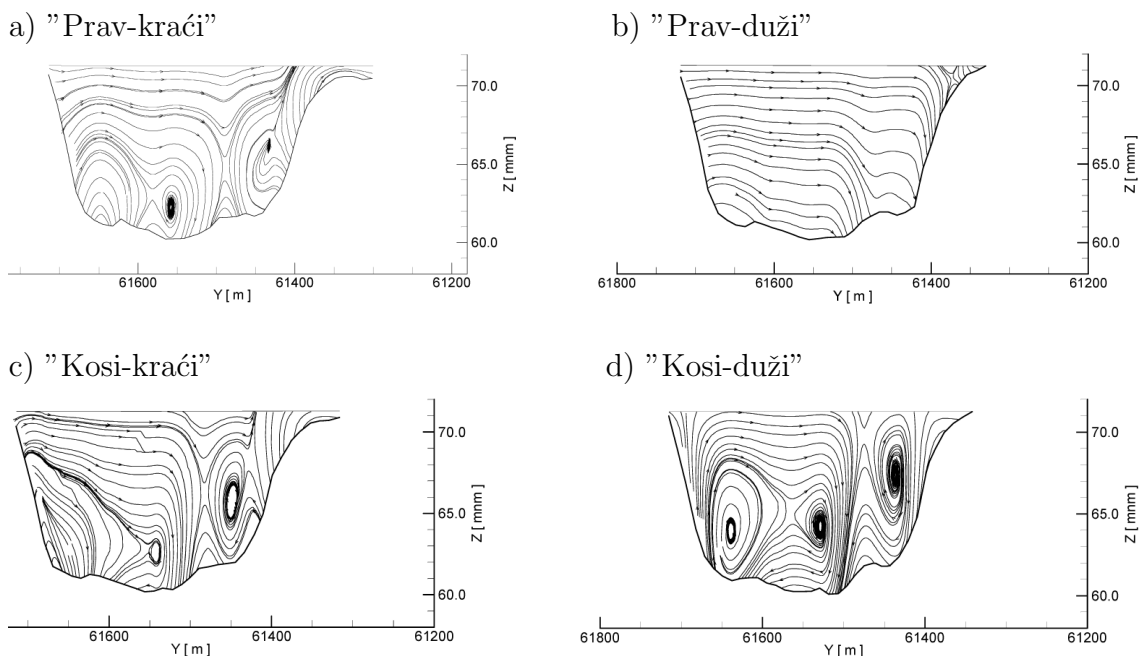
Sa stanovišta uvlačenja nanosa, poželjno je da je ulaz što uži. S druge strane, pri suženu ulaza moraju se imati u vidu zahtevi plovidbe, s obzirom da je u Zalivu predviđena izgradnja marine. U Tabeli 2 su navedene vrednosti protoka vrtloga za varijante oblikovanja ulaza.

Tabela 2: Protok vrtloga na ulazu u Zaliv

Varijanta oblika ulaza	Q [m ³ /s]
"Prav-kraći"	3.65
"Prav-duži"	3.14
"Kosi-kraći"	3.44
"Kosi-duži"	3.30

Opravdanost primene modela ravanskog tečenja, proverena je numeričkim modelom prostornog tečenja. U Tabeli 3 su dati izračunati intenziteti brzina u zoni ulaza. Može se primetiti da je intenzitet komponente brzine u pravcu vertikalne (w) dva do četiri reda veličine manji od intenziteta komponenti u horizontalnoj ravni (u, v), što dokazuje da je primena modela ravanskog tečenja bila opravdana.

Osim pomenute zone recirkulacije, na spoju reke Save i Zaliva je uočeno postojanje sekundarnog strujanja malog intenziteta. Sekundarno strujanje u poprečnim presecima na spoju reke i Zaliva je prikazano na Slici 3.



Slika 3: Vrtlozi u poprečnom preseku u matici reke Save za različite oblike ulaza u Zaliv

Uočava se da kod kraćeg špica promena ugla osovine u odnosu na prirodno stanje ne utiče bitno na prirodu sekundarnog strujanja. Nasuprot tome, sa povećanjem dužne špica, karakter sekundarnog strujanja zavisi od usvojenog azimuta. Tako kosi

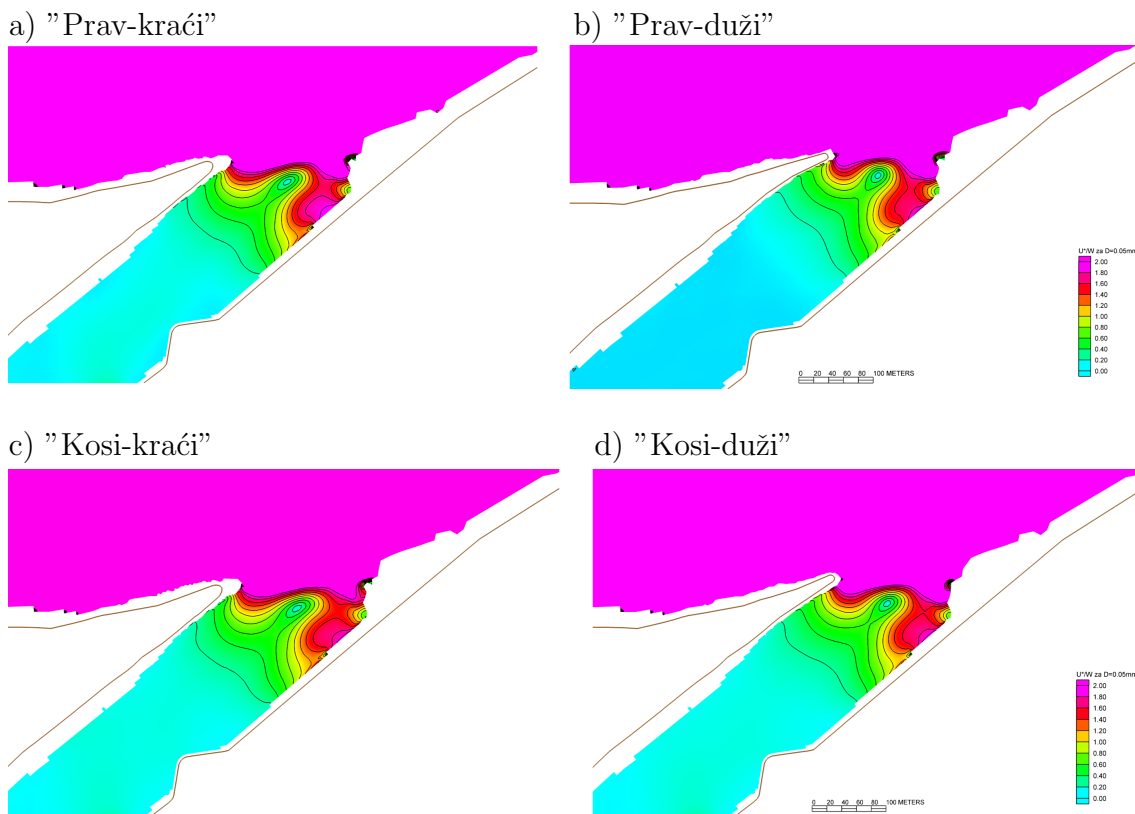
duži špic jednako remeti strujnu sliku kao i špicevi manje dužine. Međutim, prav duži špic eliminiše pojavu vrtložnog strujanja u poprečnim presecima u zoni spoja Zaliva i reke Save, čime se stvaraju povoljni uslovi za značajnije smanjenje zasipanja Čukaričkog zaliva.

Tabela 3: *Opseg brzina u zoni ulaza u Zaliv*

	u [m/s]	v [m/s]	w [m/s]
reka Sava	10^{-1}	$10^{-2} \div 10^{-1}$	$10^{-5} \div 10^{-3}$
Čukarički zaliv	$10^{-3} \div 10^{-2}$	$10^{-3} \div 10^{-2}$	$10^{-5} \div 10^{-4}$

4.2 Analiza parametara stabilnosti

Uticao oblika ulaza na zasipanje Zaliva se može sagledati upoređivanjem parametara stabilnosti korita za varijante oblikovanja ulaza. Na Slici 4 je prikazan raspored vrednosti u_*/W za različite geometrije ulaza za zrno prečnika 0.05 mm.



Slika 4: *Raspored vrednosti u_*/W za ispitane varijante*

Na prostoru koji obuhvata vrtlog, razlikuju se zone kretanja (zona ljubičaste boje) i istaložavanja (zona plave i zelene boje) nanosa. To znači da vrtlog prebacuje nanos iz jedne zone u drugu. Ukoliko je zona kretanja nanosa više uvučena ka unutrašnjosti zaliva, to znači da vrtlog ima više "snage" da unese nanos dublje u Zaliv. Da bi se proces zasipanja smanjio, zona taložnja nanosa mora biti što više

povučena ka matici reke Save. Zbog veće površine kontakta reke i Zaliva, varijante sa manjim produženjem nizvodnog kraja Ade su nepovoljnije. Usmerenjem produženog dela Ade ka matici reke dovodi do većeg poremećaja strujnog polja u zoni ulaza, što je nepovoljnije sa stanovišta uvlačenja nanosa u Zaliv.

5 Zaključci

Odredjivanje strujne slike na ulazu i uvlačenje nanosa iz reke u zaliv je veoma složen problem koji zahteva primenu numeričkih modela ravanskog i prostornog tečenja. Kada je dubina zaliva znatno manja od dubine rečnog korita, strujanje na ulazu u zaliv nema izraženi prostorni karakter, pa se može primeniti model ravanskog tečenja. Ovim modelom se može sa dovoljnom tačnošću opisati vrtložni tok na ulazu u zaliv, od čijeg intenziteta zavisi stepen zasipanja ulaza. Sužavanjem ulaza smanjuje se protok u vrtlogu i uvlačenje nanosa iz reke u zaliv. U slučaju Čukaričkog zaliva, suženje ulaza se može postići produženjem nizvodnog kraja Ade u pravcu postojeće obale ili usmerenjem ka matici reke. Rezultati numeričkih simulacija pokazuju da se bolji efekti postižu produženjem u pravcu postojeće obale.

Literatura

- [1] Anderson, D. A., Tannehill, J. C., Pletcher, R. H., *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*, Hemisphere Publishing Co., New York, 1984.
- [2] Donnell, B. P., et al., *RMA2 WES Version 4.5, Users Guide*, US Army Corps of Engineers, WexTech Systems, Valhalla, New York, 2003.
- [3] Ferziger, J.H., Perić, M., *Computational Methods for Fluid Dynamics*, Springer, Berlin, 1996.
- [4] Hajdin, G., *Mehanika fluida - Osnove*, Gradjevinski fakultet, Beograd, 2002.
- [5] Holly, F. M., Preismann, A., *Accurate calculation of Transport in Two Dimensions*, Journal of Hydraulic Division ASCE, Vol. 103, No. 11, 1977.
- [6] Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", *Izveštaj o modelskom ispitivanju ulaza u beogradsko pristanište*, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 1959.
- [7] Jansen, P. Ph., et al., *Principles of river engineering*, Pitman, 1979.
- [8] Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Zindović, B., *Hidraulička studija Čukaričkog zaliva i njegovog spoja sa rekom Savom*, Izveštaj br. 43336, Gradjevinski fakultet, Beograd, 2005.
- [9] Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Zindović, B., *Studija uticaja ispuštanja materijala izbagerovanog iz Čukaričkog zaliva u korito reke Save*, Izveštaj br. 43337, Gradjevinski fakultet, Beograd, 2006.

- [10] Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Zindović, B., *Studija uticaja mosta na donjem špicu Ade Ciganlije na strujno polje i morfologiju korita reke Save na ulazu u Čukarički zaliv u Beogradu*, Izveštaj br. 43611, Građevinski fakultet, Beograd, 2006.
- [11] Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Zindović, B., *Numerička simulacija koncentrisanog ispuštanja izbagerovanog nanosa u maticu reke*, 14. Savetovanje SDHI, 2006
- [12] Jovanović, M., *Osnove numeričkog modeliranja ravanskih otvorenih tokova*, Građevinski fakultet, Beograd, 1998.
- [13] Jovanović, M., *Regulacija reka - rečna hidraulika i morfologija*, Građevinski fakultet, Beograd, 2002.
- [14] Olsen, N.R., *A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multi-block option*, The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2004.
- [15] Patankar, S.V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Publishing Co., Washington, McGraw-Hill, New York, 1980.