

## ANALIZA NEKIH UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU IZGRADNJE MOSTA NA ADI

Miodrag JOVANOVIĆ, Radomir KAPOR, Budo ZINDOVIĆ  
Građevinski fakultet u Beogradu

### REZIME

Izgradnja Mosta na Adi iziskivala je obimne radove na ulazu u Čukarički zaliv, sa dva nepovoljna uticaja po životnu sredinu - povećano zasipanje ulaza u Zaliv i proterivanje zaštićene ptičje vrste - "malog vranca", sa njegovog staništa na špicu Ade. Ovaj članak opisuje aktivnosti na otklanjanju ovih nepoželjnih uticaja. Na osnovu proračuna kapaciteta unošenja i istaložavanja rečnog nanosa na ulazu u Zaliv, projektovano je takvo uređenje obala koje istovremeno zadovoljava određene uslove u pogledu režima strujanja vode i nanosa, omotološke uslove obnove staništa, kao i estetske uslove regulacije obale oko pilona mosta.

**Ključne reči:** zaštita životne sredine, zasipanje zaliva, numeričko modeliranje.

### 1. UVOD

Ada Ciganlija, sa jezerom, plažom, sportskim terenima, veslačkim klubovima i marinom, bez sumnje je najpopularnije rekreativno područje u Beogradu, sa preko 100000 posetilaca dnevno i 300000 posetilaca preko vikenda, tokom letnjih perioda. Most na Adi, dužine 929 m i širine 45 m, sa pilonom visine 200 m i asimetričnim sistemom kosih kablova, predstavlja jedinstveno arhitektonsko i konstruktivno rešenje [1] (Slika 1).

U debatama koje su pratile projektovanje i izgradnju ovog mosta (položaj, cena itd.), pokrenuta su i dva ekološka pitanja: (i) obnove ulaza u Čukarički zaliv po završetku obimnih radova na fundiranju mosta i (ii) obnove staništa zakonom zaštićene ptičje vrste - "malog vranca". U nastavku se opisuje način rešavanja ovih problema zaštite životne sredine.



Slika 1. Most na Adi u toku izgradnje (maj 2011).

### 2. NEKI PROBLEMI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

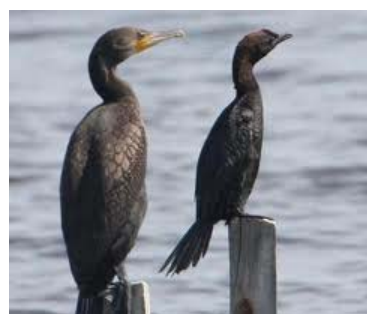
Slika 2 prikazuje položaj Mosta na Adi, sa pilonom na špicu Ade (levo) i privremenim stubovima na ulazu u Zaliv (desno). Fundiranje pilona zahtevalo je izgradnju platforme koja je oivičena zidom od čeličnih talpi (ka reci) i kame-nom obaloutvrdom (ka Zalivu). Ova platforma, kao i privremeni stubovi, značajno su izmenili oblik ulaza u Zaliv i pogoršali lokalne uslove strujanja. Samim tim, izmenjen je i režim unošenja rečnog nanosa iz reke Save u Čukarički zaliv. Kako morfodinamika korita zavisi od lokalnog strujnog polja i količine nanosa, postavljen je zadatak da se kroz odgovarajuće hidrauličko-psamološke analize odredi optimalni oblik ulaza koji bi, ne samo obnovio prethodno stanje, već ga i poboljšao, smanjenjem zasipanja ulaza u najvećoj mogućoj meri.

Drugi problem zaštite životne sredine tiče se obnove staništa malog vranca na ovoj lokaciji. Naime, stanište u šumici na špicu Ade moralo je biti uklonjeno zbog izgradnje pilona.



Slika 2. Izgradnja Mosta na Adi: platforma u podnožju pilona i privremeni stubovi na ulazu u Čukarički zaliv.

Ptica "mali vranac" (*Phalacrocorax pygmeus*, Slika 3) ima status "skoro ugrožene" vrste na "Crvenoj listi" Međunarodnog udruženja za zaštitu prirode (IUCN - International Union for Conservation of Nature [7]). Ova migratorna vrsta se smatra globalno ugroženom, sa nedovoljnim stepenom zaštite u Evropi [8, 9]. Procena je da na prostoru od Italije, preko Balkana, do Kavkaza ima oko 63000 ovih ptica, od kojih, 5%, ili 3000, boravi u Srbiji, uglavnom na Dunavu i Savi [6] (Slika 4).



Slika 3. Mali vranac



Slika 4. Staništa Malog vranca koja iziskuju obnovu posle izgradnje Mosta na Adi

### 3. ANALIZA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Ova analiza je zasnovana na rezultatima hidrauličke analize pomoću numeričke simulacije ravanskog (2D) tečenja za različite geometrijske oblike računskog domena i niz relevantnih početnih i graničnih uslova.

#### Matematički model i njegova kalibracija

Primenjen je hidrodinamički matematički model zasnovan na metodi konačnih elemenata, sa

odgovarajućim numeričkim modelom ugrađenim u softverski paket Telemac [2].

Granice računskog domena i detalj računске mreže (16356 elemenata i 8732 čvora) prikazani su na Slici 5 [3]. Rešavanjem jednačina održanja mase i količine kretanja u dva pravca, dobijaju se u pojedinim vremenskim preseccima vrednosti dubine (ili kote nivoa vode) i dve, po dubini osrednjene, komponente brzine. Na taj način se mogu definisati vremenski i prostorni rasporedi raznih hidrauličkih i psamoloških veličina, kao i pro-mene kota nivoa i kota rečnog dna za

izabrani skup početnih i graničnih uslova. U datom slučaju, proračuni ustaljenog tečenja su sprovedeni za



Slika 5. Računski domen i računski mreža [3].

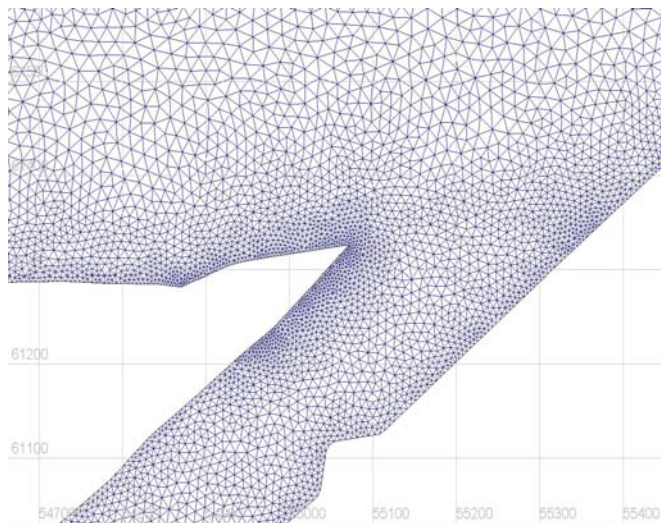
Save, od malih voda ( $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ), preko srednje vode ( $1350 \text{ m}^3/\text{s}$ ), do velikih voda ( $3000$  i  $6510 \text{ m}^3/\text{s}$ , od kojih je prva - velika voda prosečnog trajanja 30 dana/god, a druga - stogodišnja velika voda).

Kao što je poznato, modeli ravanskog tečenja iziskuju kalibraciju – određivanje vrednosti parametara modela na osnovu terenskih merenja. Vrednost Manningovog koeficijenta rapavosti utvrđena je metodom probanja, tako što su usaglašene računski kote nivoa sa kotama snimljenim na terenu. Vrednost koeficijenta vrtložne viskoznosti, koja utiče na turbulentne karakteristike toka, kalibrisana je merenjem polja brzine pomoću ADCP uređaja (Acoustic Doppler Current Profiler) [3, 4, 5, 11, 12] (Slika 6).

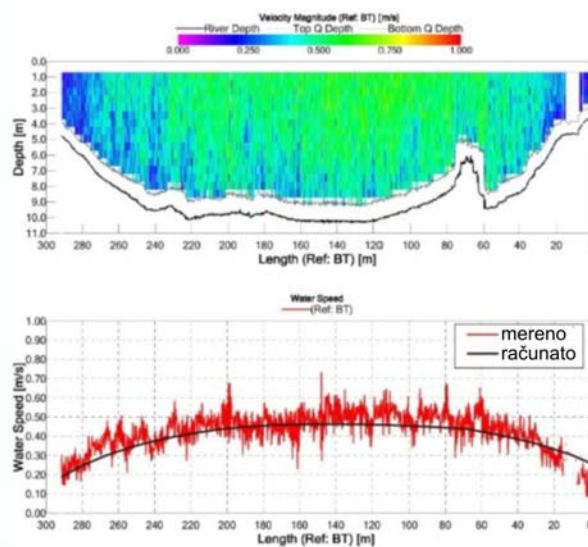
### Rezultati proračuna i predloženo rešenje

Ovde se, ilustracije radi, prikazuje samo mali deo rezultata numeričkih simulacija. Izabrani su rezultati dobijeni za 100-godišnju veliku vodu, jer se zbog veoma velikih brzina, tada najjasnije ispoljavaju trendovi fizičkih procesa. Najpre su obavljani proračuni za geometriju ulaza u Čukarički zaliv neposredno po završetku radova na izgradnji mosta (Varijanta "0" - "sadašnje stanje"). Zatim su, pri istim početnim i graničnim hidrauličkim uslovima, obavljani proračuni za razne geometrije ulaza u Čukarički zaliv, pa su rezultati upoređeni sa rezultatima Varijante "0". Kriterijum za izbor optimalne geometrije ulaza je najmanji neto unos nanosa iz Save u Zaliv, odnosno najmanje zasipanje ulaza. Ovaj kriterijum ne

opseg protoka koji u potpunosti odražavaju hidrološki režim reke



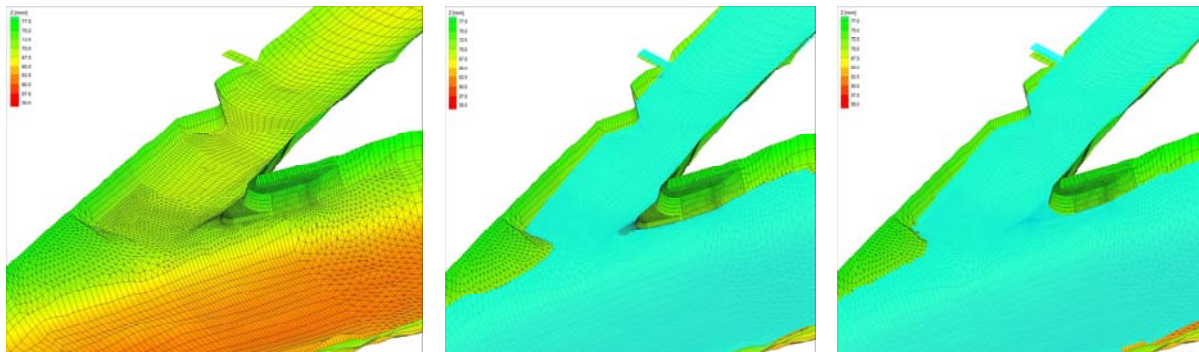
samo da odražava ekonomske aspekte održavanja plovidbenog gabarita, već i određene estetske i ekološke zahteve (ihtiološke i ornitološke). Ovde se prikazuju samo rezultati konačnog rešenja (Varijanta "R").



Slika 6. Kalibracija ravnanskog modela pomoću ADCP tehnologije [3]; gornji dijagram prikazuje polje intenziteta brzine izmereno u poprečnom profilu reke Save na ulazu u Čukarički zaliv; donji dijagram prikazuje raspored izmerene i sračunate brzine u istom profilu; kalibrisana vrednost koeficijenta vrtložne viskoznosti je ona koja daje najbolje slaganje rezultata proračuna i

merjenja i ta vrednost je nadalje merodavna za sve proračune ravanskog tečenja.

Varijanta "R" predviđa izgradnju kamenog praga dužine 50 m, visine 1-2 m, u produžetku špica Ade [3] (Slika 7).

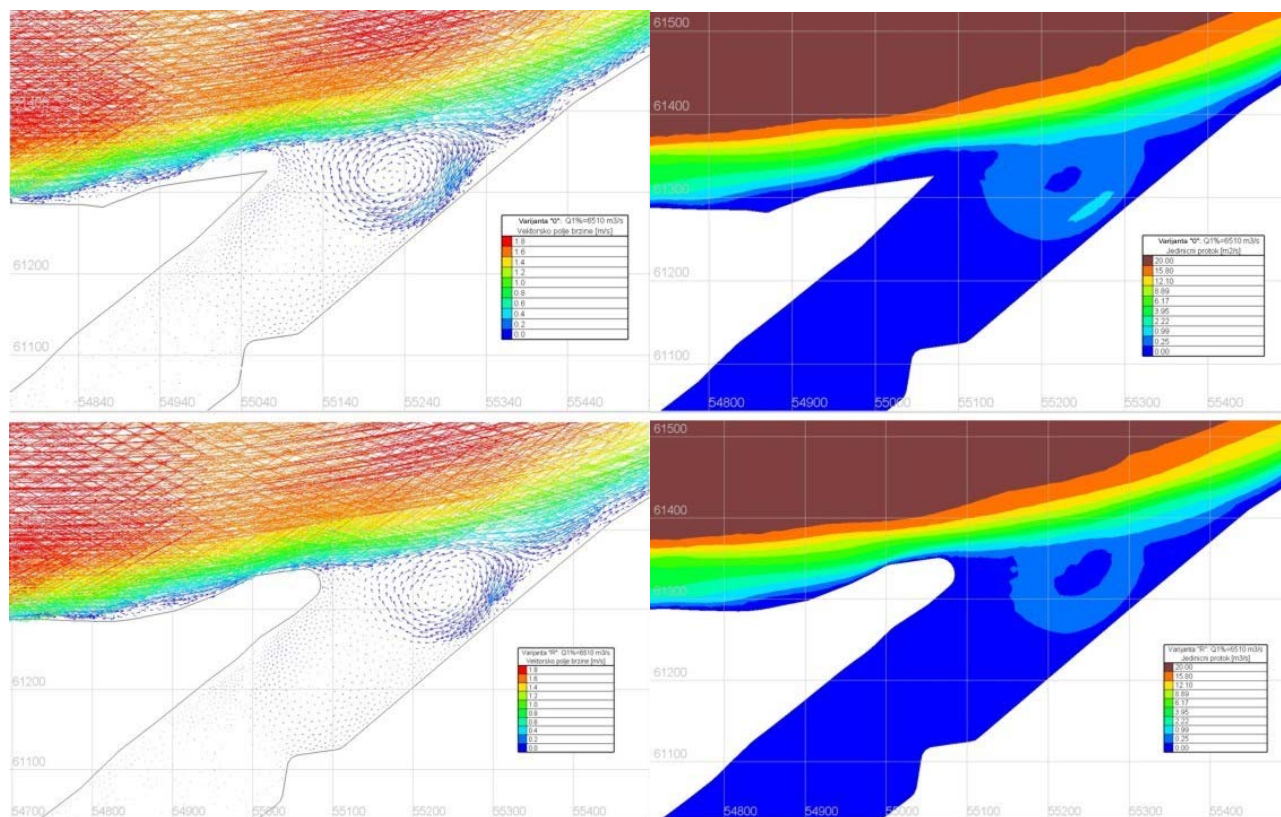


Slika 7. Predloženo hidrotehničko rešenje ulaza u Čukarički zaliv sa pragom koji je delimično vidljiv samo u periodima malih voda, dok je potopljen u periodima srednjih i velikih voda [3].

Prag je u potpunosti potopljen i nevidljiv u uslovima srednjih i velikih voda (što je bio jedan od glavnih zahteva arhitektonskog oblikovanja prostora oko pilona).

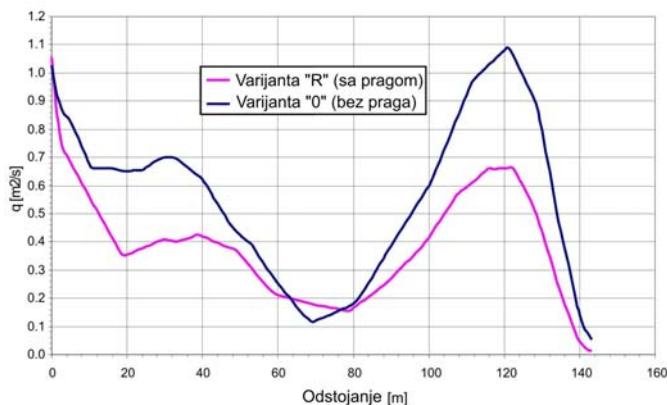
(Varijanta "0") i posle izgradnje praga (Varijanta "R"), može se konstatovati da je u ovom drugom slučaju recirkulaciono strujanje na ulazu u Zaliv slabijeg intenziteta i da je prečnik ovakvog kružnog toka manji. Isti zaključak se dobija i poređenjem rasporeda i veličine jediničnog protoka u razmatrnim varijantama.

Na Slici 8 su prikazni rezultati hidrauličkog proračuna. Upoređujući vektorska polja brzine u sadašnjem stanju



Slika 8. Rezultati hidrauličkih proračuna za protok reke Save od  $6510 \text{ m}^3/\text{s}$ ; dijagrami na levoj strani prikazuju vektorsko polje brzine za sadašnje stanje –Varijanta "0" (gore) i za slučaj praga –Varijanta "R" (dole); dijagrami na desnoj strani prikazuju raspored i intezitet jediničnog protoka u Varijanti "0" (gore) i Varijanti "R" (dole) [3].

Kvalitativno poređenje hidrauličkih uslova u razmatranim varijantama dato je na Slici 9.



Slika 9. Raspored jediničnog protoka duž ulaza u Čukarički zaliv pri protoku Save od  $6510 \text{ m}^3/\text{s}$ ; može se uočiti nagli pad jediničnog protoka u centru recirkulacione zone (vrtloga sa vertikalnom osovinom); integracijom se dobija vrednost dotoka u Zaliv od oko  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  u Varijanti "0", a  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  u Varijanti "R", što znači da je prag smanjio dotok za skoro 40%, a time i količinu nanosa koja se taloži na ulazu [3]. (Smanjenje zasipanja sužavanjem ulaza u lučke bazene je princip odavno poznat u literaturi [10, 11].)

Rezultati proračuna rasporeda koncentracije suspendovanog nanosa (koji nisu ovde prikazani) potvrđuju da je predloženo rešenje sa pragom povoljno sa stanovišta smanjenja zasipanja ulaza u Zaliv.

Po završetku hidrauličke analize, pristupilo se trasiranju regulacione linije obala, vodeći računa, pored hidrauličkih zahteva, i o obnavljanju ptičjih staništa prikazanih na Slici 4. Konačno rešenje dato je na Slici 10. Osnovne karakteristike ovog rešenja mogu se sumirati na sledeći način:

- Platforma izgrađena u podnožju pilona mora biti značajno izmenjena; njena površina mora biti smanjena, a kontura hidraulički oblikovana.
- Shodno arhitektonskom projektu uređenja prostora oko pilona, postojeće nasipe duž Ade Ciganlije treba produžiti oko pilona, kako bi se zaštitili od plavljenja pomoćni objekti (stepenište, lift, drenažni sistem mosta sa ispuštom).

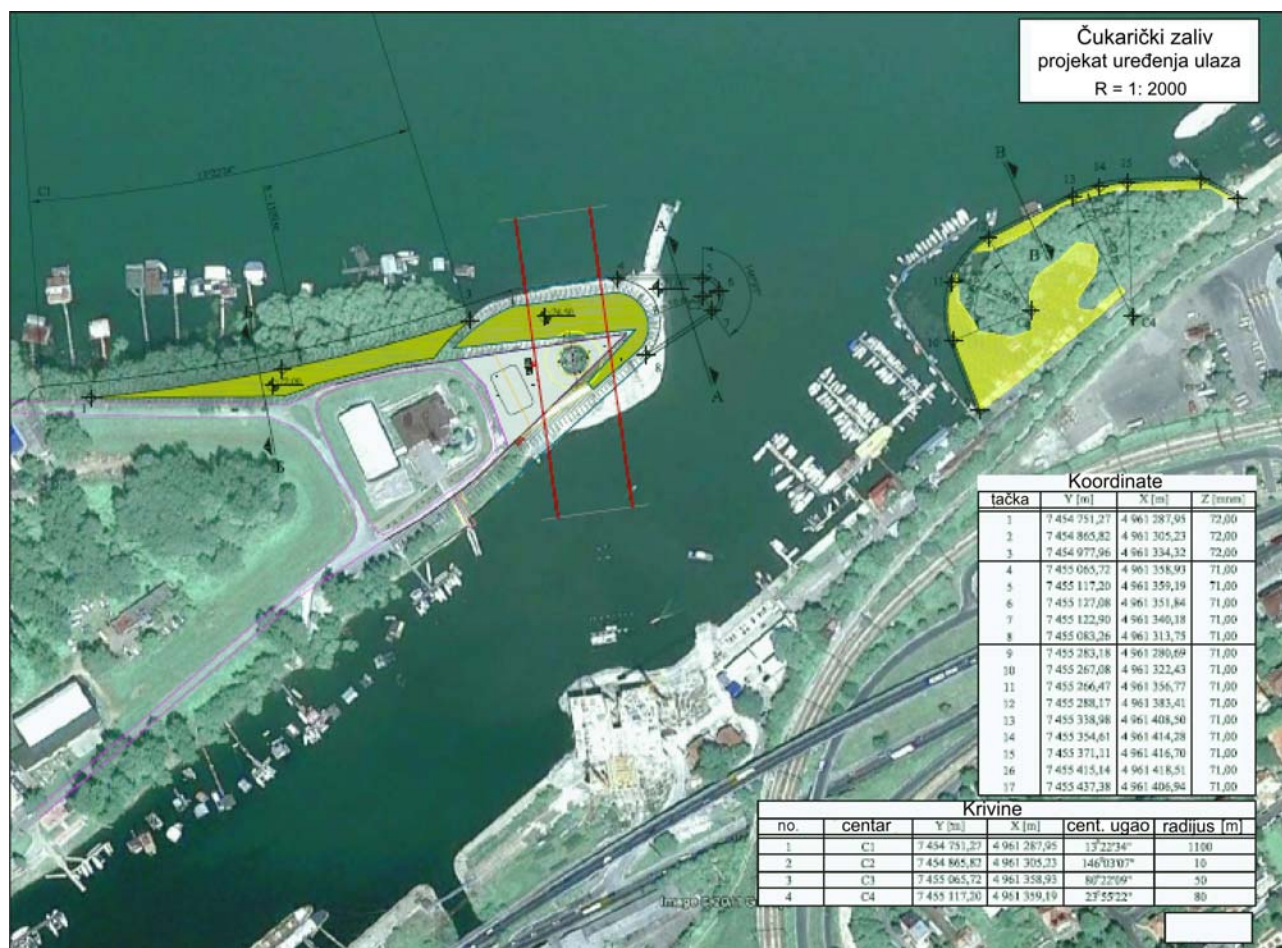
- Prag dužine 50 m i visine 1-2 m, u produžetku špica Ade ima za cilj smanjenje zasipanja ulaza u Zaliv, što je poželjno sa stanovišta plovidbe i održanja biološke raznovrsnosti.
- Postojeća staništa malog vranca (označena 1 i 2 na Slici 4) obnavljaju se i proširuju u sklopu regulacije rečnog korita.
- Stanište 1, neposredno uzvodno od platforme i pilona, proširuje se pomeranjem regulacione linije ka matici Save; dodatna površina (označena žutom bojom na Slici 10) namenjena je pošumljavanju.
- Stanište 2 na desnoj obali Save neposredno na ulazu u Čukarički zaliv (naspram pilona), nalazi se na sprudu, čiji je oblik u osnovi prilagođen hidrauličkim zahtevima, a čija je površina (označena žutom bojom na Slici 10) povećana nasipanjem; gornji sloj od humusa ima za cilj da postojeći samonikli vrbak pretvori u uređeni šumski lokalitet.

Opisano rešenje ulaza u Čukarički zaliv je projektovano u uverenju da su hidraulički i ornitološki zahtevi u potpunosti tehnički ispunjeni. Pa ipak, ostaje da se vidi da li će mali vranac nastaviti da boravi na datoj lokaciji kada intenzitet saobraćaja preko mosta dostigne svoj maksimum.

#### 4. ZAKLJUČCI

1. Realizacija projekata zaštite životne sredine zahteva dobro poznavanje rečne hidraulike i primenu odgovarajućih softverskih alata za modeliranje složenih strujanja.
2. Numeričke simulacije, sprovedene pomoću prethodno kalibrisanog numeričkog modela, u celom dijapazonu početnih i graničnih uslova, daju solidnu osnovu za proveru raznih projektnih rešenja zaštite životne sredine i za izbor optimalnog rešenja koje treba istovremeno da zadovolji niz raznorodnih zahteva.
3. Slučaj Mosta na Adi pokazuje da: (i) zasipanje ulaza u zaliv može biti značajno smanjeno izgradnjom praga pravilno usvojenog usmerenja i optimalno izabrane dužine i visine i (ii) sprudovi koji su posledica morfodinamičkih procesa u rečnom koritu, mogu se urediti kao staništa retkih ptičjih vrsta. Time

je ispunjen potreban uslov, a da li će on biti i dovoljan, zavisice od toga da li će se zaštićene price prilagoditi novom okruženju.



Slika 10. Predloženo uređenje ulaza u Čukarički zaliv uzimajući u obzir hidrauličko-psamološke i ekološke zahteve [3].

## ZAHVALNOST

Neki od proračuna koji su prikazani u ovom članku obavljani su u sklopu naučnog projekta "Merenje i modeliranje fizičkih, hemijskih, bioloških i morfodinamičkih parametara reka i vodnih akumulacija" (TR37009), finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije.

## LITERATURA

[1] Ada Bridge <http://en.wikipedia.org/wiki/AdaBridge>

[2] Hervouet, J-M.: Hydrodynamics of Free Surface Flows - modelling with the finite element method, John Wiley & Sons, 2007

[3] Jovanović, M., Kapor, R., Zindović, B.: Studija hidrotehničkog uređenja ulaza u Čukarički zaliv u uslovima nastalim izgradnjom novog mosta na reci Savi, Građevinski fakultet, Beograd, 2011.

[4] Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Zindović, B., Numerička simulacija koncentrisanog ispuštanja izbagerovanog nanosa u maticu reke, Vodoprivreda, Vol. 39, br. 1-3, 2007.

- [5] Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Zindović, B.: Upgrading Environmental Projects by CFD Modelling, 23. Conference of the Danube Countries on the Hydrologic Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Belgrade, 2006.
- [6] Monitoring of Pygmy Cormorants in Belgrade, <http://www.ptica.org/eng/news/archive.htm>
- [7] The IUCN Red List of Threatened Species, <http://www.iucnredlist.org/>
- [8] Pygmy Cormorant (*Phalacrocorax pygmeus*), <http://www.birdlife.org>
- [9] Pygmy Cormorant (*Phalacrocorax pygmeus*), <http://www.gobirding.eu>
- [10] Van Schijndel, S., Kranenburg, C.: Reducing the siltation of a river harbour, Journal of Hydraulic Research, Vol. 36, No. 5, pp. 803-814.
- [11] Zindović, B., Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Đorđević, D.: Oblikovanje ulaza u zaliv primenom modela ravanskog i prostornog tečenja, Vodoprivreda, Vol. 39, br. 1-3, 2007.
- [12] Zindović, B., Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Modeliranje kvaliteta vode u zalivu primenom modela ravanskog tečenja, Vodoprivreda, Vol. 39, br. 1-3, 2007.

## ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF CONSTRUCTION OF THE ADA BRIDGE

by

Miodrag JOVANOVIĆ, Radomir KAPOR, Budo ZINDOVIĆ  
University of Belgrade  
Faculty of Civil Engineering

### Summary

Construction of the new cable stayed bridge on the Sava River in Belgrade - the "Ada Bridge", required extensive foundation works at the entrance of the Ada Bay, with two environmentally unfavourable consequences - increased siltation of the Bay entrance, and dislodgement of protected bird species (the pygmy cormorant). This paper deals with actions undertaken in order to resolve these unfavourable environmental impacts.

Numerical 2D flow simulations were done in order to design a reconstructed Bay entrance with reduced siltation, and to shape the existing sand bars to become, after backfilling and planting, a renewed habitat for the protected bird species.

Key words: environmental protection, bay siltation, 2D flow numerical modelling

Redigovano 05.09.2012.