



R 2.12.

MORFODINAMIČKE ANALIZE VARIJANTNIH RJEŠENJA UREĐENJA UŠĆA RIJEKE DRAVE

Gordon Gilja, Dora Jelić, Neven Kuspilić

SAŽETAK: Ušće rijeke Drave u Dunav karakteriziraju specifični morfodinamički procesi nastali kao posljedica položaja ušća na unutarnjoj, konveksnoj obali te znatno većih protoka Dunava od onih rijeke Drave. Na desnoj obali Dunava neposredno uzvodno od ušća znatnim taloženjem nanosa formiran je pješčani sprud koji migracijom tijekom velikih voda Dunava zadire u korito Drave. U ovom radu prikazane su analize morfoloških promjena ušća pomoću združenog 2D numeričkog modela tečenja/pronosa nanosa, povijesnih podataka o morfologiji korita te podataka o pronosu nanosa i ADCP mjerenja profila brzine. Cilj rada je kvalitativno procijeniti doprinos uređenja ušća rijeke Drave u svrhu ostvarivanja dugoročno stabilnog režima nanosa i omogućavanja plovidbe u uvjetima male vode. Za potrebe morfodinamičke analize definirano je pet varijantnih rješenja regulacijskih građevina različitog tipa i geometrije te analiziran utjecaj svakog od njih na režim voda i nanosa.

KLJUČNE RIJEČI: rijeka Drava, ušće, regulacijske građevine, koritoformirajući nanos, ADCP

MORPHODYNAMIC ANALYSES OF THE VARIANT RIVER TRAINING SOLUTIONS FOR THE DRAVA CONFLUENCE

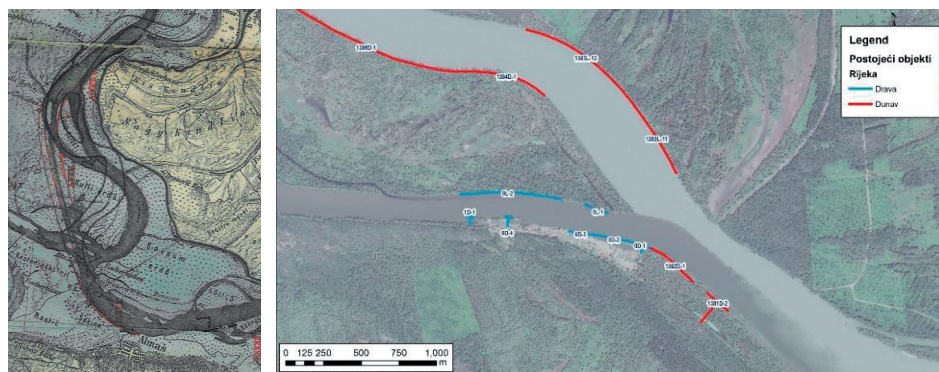
ABSTRACT: The Drava and Danube confluence is characterized by specific morphodynamic processes resulting from the position of the river mouth on the inner, convex bank and the significantly higher Danube discharges than those of the Drava. On the Danube's right bank, immediately upstream of the confluence, significant depositing of sediment has formed a sandbar that migrates during the Danube flood events directly into the Drava riverbed. The paper presents the analyses of morphological changes at the confluence using a combination of a 2D numerical model of flow/sediment transport, historical data on the riverbed morphology and sediment transfer data as well as the ADCP measured velocity profiles. The aim of the paper is to perform a qualitative assessment of the contribution of the Drava River training to achieving a long-term stability of the sediment regime and to facilitating navigation in low water level conditions. For the purposes of the morphodynamic analysis, five variant solutions for river training structures of different types and geometry were defined and the impact of each of these solutions on the water

and sediment regimes was analysed.

KEYWORDS: Drava River, confluence, river training structures, bedload, ADCP

1. UVOD

Međunarodna komisija za zaštitu Dunava provela je detaljnu analizu karakteristika sliva Dunava u skladu s člankom 5. Okvirne direktive EU-a o vodama na temelju koje je prepoznat rizik nemogućnosti ispunjavanja okolišnih ciljeva duž cijelog toka Dunava (ICPDR, 2005). Kao jedan od glavnih uzroka identificiran je režim nanosa, tj. posljedice pritisaka uzrokovanih hidromorfološkim promjenama (Liska, 2008). Prvo presijecanje meandra Drave izvedeno je 1805. godine kod Bijelog Brda (Bognar, 2008). Do 1846. izvedena su i ostala presijecanja meandara, čime se znatno skratilo dravski plovni put te je duljina današnje dionice od Osijeka do ušća u Dunav 12 km kraća u odnosu na 1784. godinu (Vujašinović, 2008). Dionica rijeke Drave od Osijeka do ušća je pod znatnim usporom Dunava, čiji protoci dosežu i peterostruko veće vrijednosti od onih rijeke Drave te tako u većem dijelu godine smanjuju protočnost njenog korita i brzinu toka što pogoduje intenzivnijem taloženju koritiformirajućeg nanosa. Ušće rijeke Drave u Dunav karakteriziraju specifični morfološki procesi nastali kao posljedica položaja ušća na unutarnjoj, konveksnoj obali te znatno većih protoka Dunava od onih rijeke Drave. Neposredno uzvodno od ušća Drave dionica Dunava je ispravljena nakon izlaska iz lijeve krivine te je povijesno podložna značajnim morfodinamičkim promjenama. Veći regulacijski radovi na Dunavu izvode se u razdoblju od 1880. do 1914. godine, a jednim od njih, presjekom meandra Srebrnica (1890. - 1891. i 1894.), oblikovano je i današnje ušće Drave na rkm 1384 (slika 1 lijevo). Do tada su Drava i Dunav na ušću zatvarale kut od 180° , što što je rezultiralo pojavom sprudova i ada koje su onemogućavali plovidbu (Kálmán, 1952). Nastavak značajnijih regulacijskih radova na dionici ušća slijedio je u razdoblju od 1971. do 1976. godine kada su izvedene paralelna građevina s traverzom, obaloutvrda i sustav pera na desnoj obali te obaloutvrda i pera na lijevoj obali (slika 1 desno) te upisane u Katastar vodograđevina (Hidroing d.o.o. i drugi, 2016; Vodoprivreda Osijek, 1986).

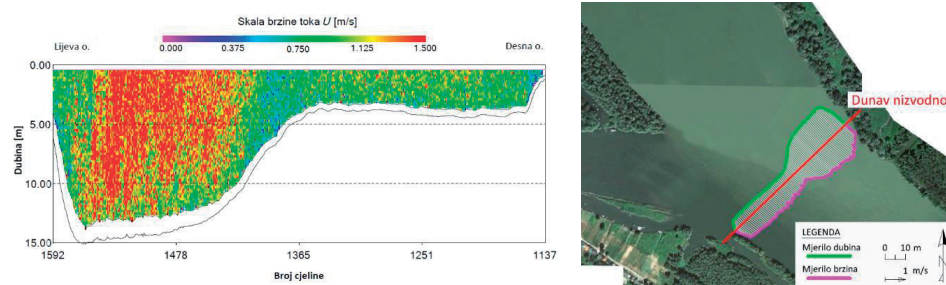


Slika 1. Plan regulacije Dunava iz 1894. g. (lijevo); pregledna situacija postojećih građevina (desno) (Hidroing d.o.o. i drugi, 2016)

Utjecaj navedenih zahvata povećao je erozivni kapacitet toka te izmijenio dinamiku režima voda i nanosa, što je posebno istaknuto na desnoj obali Dunava neposredno uzvodno od ušća gdje je uslijed znatnog taloženja nanosa na konveksnoj obali formiran pješčani sprud. Ovaj sprud migracijom za vrijeme velikih voda Dunava zadire u korito Drave, uzrokujući izdizanje korita na široj dionici ušća te posljedično probleme s plovnošću tj. osiguravanjem gabarita plovnog puta. Cilj ovog rada je analizirati potencijalna varijantna rješenja regulacije korita rijeke Drave na njenom ušću u svrhu osiguranja dugoročne stabilnosti režima nanosa koji neće ometati odvijanje plovidbe u uvjetima male vode. Valorizacija varijantnih rješenja provedena je pomoću združenog 2D hidrodinamičkog modela tečenja i pronosa nanosa.

2. METODOLOGIJA

Za potrebe uspostavljanja hidrodinamičkog modela izvedena su geodetsko-hidrografska mjerenja na temelju kojih je definirana numerička domena modela, batimetrija i rubni uvjeti te je provedeno uzorkovanje materijala iz korita Dunava i Drave kojim su opisane karakteristike vučenog i suspendiranog nanosa. Provedena geodetsko-hidrografska mjerenja obuhvaćala su snimanje geometrije poprečnih profila, profila brzine toka, protoka, granulometrijskog sastava korita te u konačnici obrade podataka mjerenja uz stalno praćenje promjena na snimljenim poprečnim profilima. Mjerenja korištena u ovom radu provedena su u razdoblju od 2014. do 2017. godine za potrebe projekata Konceptijsko rješenje poboljšanja uvjeta plovnošću rijeke Drave od ušća do luke Osijek (Hidroing d.o.o. i drugi, 2015) i Elaborata praćenja morfoloških promjena i tehničkog rješenja osiguranja plovnošću na ušću rijeke Drave u rijeku Dunav (Hidroing d.o.o. i drugi, 2016) koje je Građevinski fakultet u Zagrebu (zavod za hidrotehniku) izradio u suradnji s tvrtkom Hidroing d.o.o. iz Osijeka.



Slika 2. Profil trenutne brzine snimljen ADCP uređajem (lijevo); prevaljeni profil brzine i dubine nakon obrade (desno) u uvjetima srednje vode na ušću

Model postojećeg stanja je definiran na način da obuhvaća dionicu rijeke Drave i rijeke Dunava oko ušća, s definiranim rubnim uvjetima dovoljno udaljenim od njega da dođe do numeričke stabilizacije proračunskih parametara na samoj lokaciji ušća (oko 1 km od svih rubnih uvjeta). Uspostava modela postojećeg stanja omogućava kvantifikaciju hidrauličkih parametara koji su posljedica interakcije trenutnog režima voda i nanosa s morfologijom korita ušća. Za kalibraciju modela korišteni su podaci o polju brzina

prikupljeni ADCP mjerenjem i obrađeni softverom razvijenim na Građevinskom fakultetu koji omogućuje prikaz prevaljenih brzina toka usrednjenim po vertikali vodnog stupca i diskretiziranim u prostoru s odabranom razlučivošću (slika 2).

Na temelju podataka s vodomjernih postaja definirani su mjerodavni hidrološki događaji koji odražavaju karakteristične uvjete režima voda: protok punog korita Q_{BF} , protok srednje vode Q_{SV} i protok niskog plovnog vodostaja Q_{NPV} . Protok punog korita je prepoznat kao pokretač najvećih morfoloških promjena u koritu, protok srednje vode predstavlja prosječne uvjete režima voda kroz dugi niz godina, a protok niskog plovnog vodostaja predstavlja granične uvjete za plovidbu. Navedeni protoci izračunati su analizom krivulja trajanja protoka i vodostaja s vodomjernih postaja VP Aljmaš na Dunavu i VP Beliše na rijeci Dravi. Protoci Drave koji odgovaraju gore navedenim karakterističnim hidrološkim događajima su $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$, $552 \text{ m}^3/\text{s}$ i $296 \text{ m}^3/\text{s}$ te Dunava $3.330 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.345 \text{ m}^3/\text{s}$ i $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ za protok punog korita, srednje vode i niskog plovnog vodostaja. Parovi protoka korišteni za numeričke simulacije pretpostavljali su istovremenu pojavu protoka karakterističnih događaja na obje rijeke, bez obzira na vjerojatnost pojave takvog događaja. Ovo je naročito važno pri niskom plovnom vodostaju jer on predstavlja najnepovoljniji događaj s aspekta korištenja vodotoka za plovidbu. Pripadni vodostaj za navedene rubne uvjete izračunat je korištenjem konsumpcijske krivulje s VP Aljmaš, a verificiran korištenjem konsumpcijske krivulje na VP Osijek. Uzevši u obzir da se protoci na VP Osijek ne mjere kontinuirano, Građevinski fakultet je iskoristio vlastitu bazu podataka koja se sastoji od 68 mjerenja protoka za izračun funkcije najmanjih protoka i vodostaja kako bi se odredila konsumpcijska krivulja za VP Osijek bez utjecaja uspora.

Cjelovito proučavanje promjena u koritu vezano je osim uz režim voda i uz režim nanosa te sastav materijala korita i njegove geomehaničke karakteristike. Najbliža lokacija na kojoj se prati pronos suspendiranog nanosa rijeke Drave je VP D. Miholjac s koje preuzeti podaci o pronosu nanosa i zavisnosti pronosa suspendiranog nanosa i protoka, a dostupni su u prethodno provedenim istraživanjima (Gilja i drugi, 2009; Kuspilić i drugi, 2015). Pronos suspendiranog nanosa prati dinamiku režima voda, najveći je u proljeće (svibanj i lipanj), a najmanji tijekom ljeta i zime (Bognar, 2008). Za potrebe ovog istraživanja uzorkovan je materijal vučenog i suspendiranog nanosa na više lokacija na predmetnom području. Iz granulometrijskih krivulja uočava se da je suspendirani nanos sastavljen pretežito od srednje do sitnoznatog pijeska. Vučeni nanos se sastoji isključivo od pijeska, s uniformnom distribucijom oko $d_{50} = 0,3 \text{ mm}$.

Za potrebe morfodinamičke analize režima voda i nanosa definirano je šest varijantnih rješenja regulacijskih građevina različitog tipa i geometrije, koja su predložena uzimajući u obzir podatke prikupljene terenskim mjerenjima. U analizi su razmatrana sljedeća varijantna rješenja: „ne činiti ništa“ (*var0*), „kontinuirano čišćenje“ (*var1*), „obaloutvrda na lijevoj obali“ (*var2*), „obaloutvrda na desnoj obali“ (*var3*), „Chevrnsko pero“ (*var4*) i „deklinatorno pero“ (*var5*). Varijantno rješenje „ne činiti ništa“ podrazumijeva izostanak intervencije bilo koje vrste na lokaciji ušća, tj. u suštini predstavlja prirodni morfološki razvoj korita pod djelovanjem postojećeg režima voda i nanosa Drave i Dunava. Varijantno rješenje „kontinuirano čišćenje“ podrazumijeva produbljivanje korita predmetne dionice rijeke Drave unutar plovnog gabarita u duljini od oko 1.500 m od ušća uzvodno, širine 50 m. Varijanta „obaloutvrda na lijevoj obali“ podrazumijeva izgradnju obaloutvrde koja bi omogućila koncentraciju toka rijeke Drave uz lijevu obalu, pri

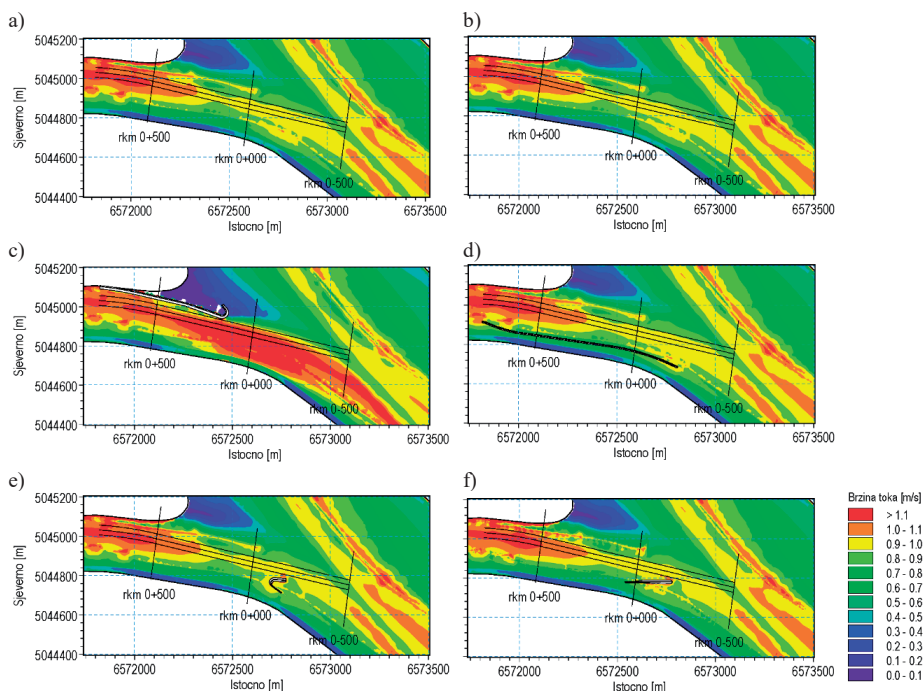
uvjetima velikih voda kada dolazi do značajnih morfoloških promjena u koritu. Varijanta „obaloutvrda na desnoj obali“ podrazumijeva dogradnju postojećeg T-pera i obaloutvrde na desnoj obali čime bi se onemogućilo tečenje u rukavcu u uvjetima nižim os srednje vode te tako povećala brzina toka Drave na samom ušću. Ova varijanta, kao i prethodna, podrazumijeva izgradnju obaloutvrde na kotu 80,0 m n. m. od lomljenog kamena u pokosu 1:2. Varijanta „Chevrnsko pero“ podrazumijeva izgradnju pera na ušću čija je funkcija lokalno povećati brzinu toka. Za razliku od klasičnih pera, chevronska pera nisu ukorijenjena u obalu, već su neukorijenjeni kameni nabačaj tlocrtnog oblika slova „V“ ili slova „U“ s vrhom orijentiranim uzvodno. Varijanta „deklinatorno pero“ je varijantno rješenje koje podrazumijeva izgradnju deklinatornog pera uz desnu obalu Drave na ušću čija je konstrukcija identična je kao i kod klasičnih pera izuzev veze s obalom - deklinatorna pera su predviđena bez ukorjenjivanja uz obalu. Primjena ovakvih, kao i Chevronske pera, predstavlja primjer dobre prakse ekološkog riječnog inženjerstva je ona dopuštaju strujanje i u području između pera i bliže obale, istovremeno stvarajući sjenu toka nizvodno u kojoj je brzina toka zanemariva.

3. REZULTATI

Analiziran je utjecaj svakog varijantnog rješenja na režim voda i nanosa koristeći rezultate hidrodinamičkog modela (polje brzine i polje brzine morfoloških promjena) pri tri karakteristična hidrološka događaja. U ovom poglavlju izdvojeni su grafički prikazi rezultata polja brzine i rezultata brzine morfoloških promjena za uvjete punog korita Q_{BF} što predstavlja karakteristični događaj režima voda i nanosa pri kojem dolazi do najizraženijih morfoloških promjena korita. Polje brzine ocijenjeno je usporedbom promjene intenziteta tečenja unutar plovnog puta gdje je poželjno povećanje brzine u odnosu na postojeće stanje. Morfološke promjene kvantificirane su koristeći varijablu brzina morfoloških promjena koja predstavlja potencijal za eroziju i taloženje nanosa izražene preko promjene razine korita (m/dan).

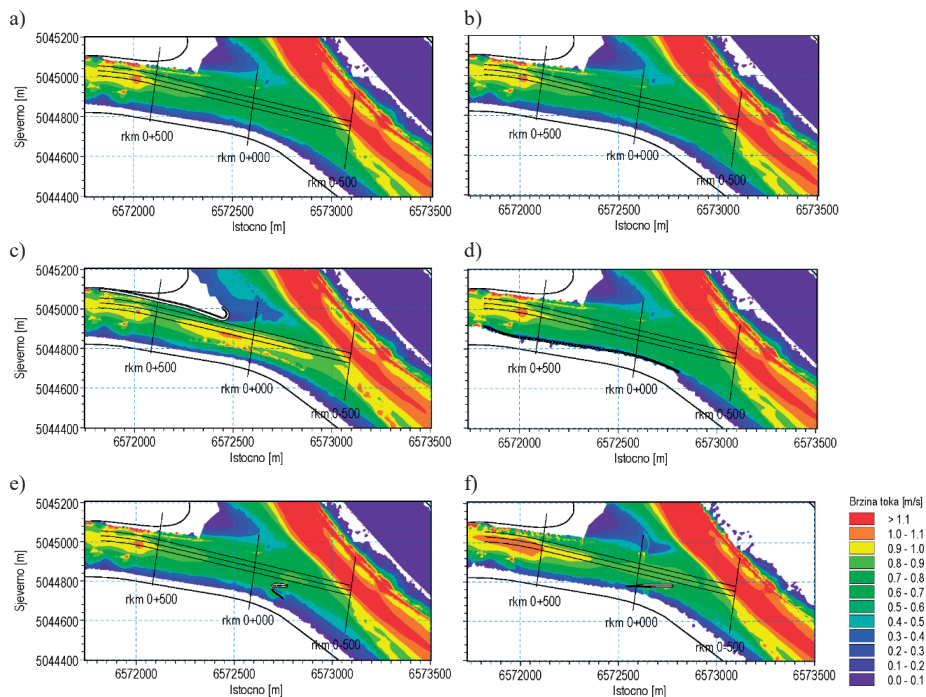
3.1. Rezultati polja brzine

Promatrajući polje brzine toka po plovnom putu za Q_{BF} vidljivo je da nema značajnijih razlika između pojedinih varijantnih rješenja, izuzev varijante *var2* (slika 3c). Za većinu varijanti brzina toka postupno pada od rkm 0+500 do rkm 0+200, a zatim je konstantna sve do glavnog korita Dunava (rkm 0-500). Odstupanje *var2* u odnosu na ostale je to što dolazi do povećanja brzine toka uz građevinu i nizvodno (od rkm 0+400 do 0-300) gdje je brzina konstantna i približna onoj kod uzvodnih građevina (T-pera od rkm 0+930 do rkm 1+180).



Slika 3. Srednja brzina toka za Q_{BF} : a) var0; b) var1; c) var2; d) var3; e) var4; f) var5

Promatrajući polje srednje brzine toka za protok Q_{SV} (slika 4) vidljivo je da kao i u slučaju Q_{BF} nema značajnijih razlika između pojedinih varijantnih rješenja osim kod var2. Brzina toka postupno pada od rkm 0+500 do 0+200, a zatim je konstantna sve do rkm 0-300 te ponovno dolazi do porasta brzine unutar glavnog korita Dunava (do rkm 0-500). Odstupanje između ostalih varijantnih rješenja je vidljivo nizvodno od rkm 0-050, gdje dolazi do izražaja utjecaj izgradnje pera u varijantama var4 i var5 na polje brzine te se za njih srednja brzina toka poklapa s var2 od rkm 0-200 nizvodno.



Slika 4. Srednja brzina toka za Q_{SIV} : a) var0; b) var1; c) var2; d) var3; e) var4; f) var5

Za protok niskog plovnog vodostaja Q_{NPV} vidljivo je da, suprotno od dva prethodna karakteristična hidrološka događaja, postoje značajnije razlike između pojedinih varijantnih rješenja. Brzina toka za sve varijante izuzev *var2* postupno pada od rkm 0+500 do rkm 0+200, zatim raste do rkm 0+000. Nizvodno od rkm 0+000 brzina toka je konstantna do spoja s glavnim koritom Dunava za sve varijante osim varijanti s perima, *var4* i *var5*, kod kojih dolazi do postupnog porasta brzine toka. Za varijantu *var2* brzina toka je konstantna duž cijele dionice od rkm 0+500 do 0-400.

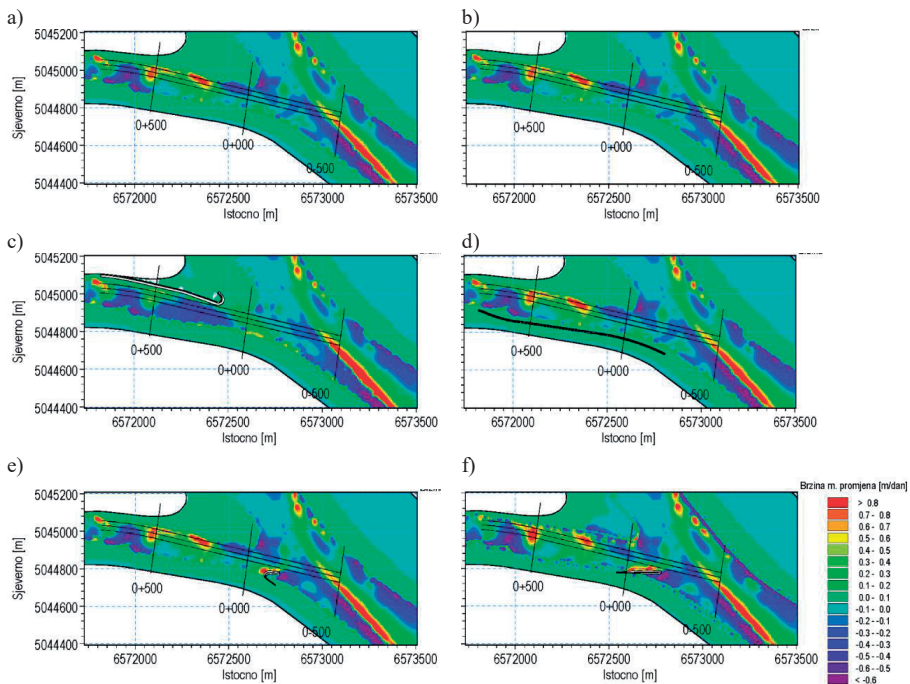
Za *var1* pri svim protocima nema značajnijih promjena u odnosu na postojeće stanje za uvjete istog hidrološkog događaja. Za varijantno rješenje *var2* dolazi do značajnog povećanja brzine toka Drave od rkm 0+500 do rkm 0-500, za cca 20 % pri svim protocima. Za *var3* pri svim protocima nema značajnijih promjena u odnosu na postojeće stanje, vidljivo je tek lokalno smanjenje brzine toka rijeke Drave uz desnu obalu nizvodno od ušća u Dunav, u sjeni građevine. Za varijante s perima, *var4* i *var5* pri svim protocima vidljivo je lokalno smanjenje brzine toka u sjeni pera te smanjenje brzine toka Drave uz njenu desnu obalu nakon ušća u Dunav.

3.2. Rezultati brzine morfoloških promjena

Temeljem analize brzine morfoloških promjena verificirani su rubni uvjeti modela u pogledu koncentracije nanosa, na način da su uspoređeni rezultati varijante „ne činiti ništa“ (*var0*) s postojećim promjenama evidentiranim na ušću. Vidljivo je da dolazi do erozije korita Drave po cijelom profilu na dionici od rkm 1+000 do rkm 0+600, gdje je

identificirano ubrzanje toka uvjetovano izgrađenim T-perima na desnoj obali. Erodirani nanos se taloži u plovnom putu na potezu od rkm 0+600 do rkm 0+200. Na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira, što je konzistentno s prisutnim ograničenjima u plovidbi u stvarnosti.

Polje brzine morfoloških promjena za protok punog korita Q_{BF} (slika 5) pokazuje sličan trend onom polja brzine: razlike između pojedinih varijantnih rješenja su zanemarive, izuzev varijante *var2* (slika 5c). Od rkm 0+500 do rkm 0+150 pokazuje se trend sedimentacije unutar plovnog gabarita, dok se nizvodno do rkm 0-400 pokazuje trend erozije korita, pri čemu je erozija znatno manje izražena od sedimentacije. Razlike između varijantnih rješenja su vidljive samo na potezu od rkm 0-050 do rkm 0-300 gdje varijante u kojima se predviđa izgradnja građevina pokazuju poboljšanje u odnosu na varijantu kontinuiranog čišćenja plovnog puta (*var1*, slika 5b). Varijanta *var2* pokazuje trend erozije korita duž cijele dionice, izuzev kratkog poteza na samom ušću od rkm 0+050 do rkm 0-050. Podudaranje varijante *var2* i ostalih je vidljivo tek nizvodno od ušća, od rkm 0-200 nadalje.



Slika 5. Brzina morf. promjena za Q_{BF} : a) *var0*; b) *var1*; c) *var2*; d) *var3*; e) *var4*; f) *var5*

Za varijantno rješenje *var1* vidljivo je da dolazi do erozije korita Drave po cijelom profilu na dionici od rkm 1+000 do rkm 0+600. Erodirani nanos se taloži u plovnom putu na potezu od rkm 0+500 do rkm 0+200. Na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira, no unutar gabarita plovnog puta je sedimentacija izraženija od erozije. Izgradnjom obaloutvrde u *var2* inicirana je erozija korita Drave cijelom

širinom na dionici rkm 0+400 do rkm 0+100. Erodirani nanos se taloži neposredno nizvodno od završetka obaloutvrde na rkm 0+000 također cijelom širinom korita, dok je erozija prisutna od rkm 0-100 do rkm 0-500. Za varijantno rješenje *var3* vidljivo je da se trend morfoloških promjena poklapa s onim u varijantnom rješenju „ne činiti ništa“ (*var0*) jer je građevina pozicionirana uz desnu obalu Drave gdje je tok stabilan i nema izražene fluktuacije u jačini i smjeru polja brzine koje bi uzrokovale morfološke promjene. Za varijantu izvedbe Chevronskeg pera (*var4*) dolazi do morfoloških promjena koje se samo lokalno u blizini pera razlikuju od *var0*. Na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira. Erozija je prisutna neposredno uz uzvodni rub Chevronskeg pera, dok se taloženje odvija na njegovom uzvodnom pokosu i obali te neposredno nizvodno od pera. U sjeni pera dolazi do erozije korita uslijed prelijevanja preko tijela pera i pojave hidrauličkog skoka. Za varijantu izvedbe deklinatornog pera (*var5*) erozija je prisutna neposredno uz uzvodni rub pera, dok se taloženje odvija na njegovom uzvodnom pokosu i obali te neposredno nizvodno od pera. U sjeni pera dolazi do erozije korita uslijed prelijevanja preko tijela građevine i pojave hidrauličkog skoka. Nakon ušća u Dunav matica toka Drave je odbačena uz desnu obalu uslijed čega dolazi do povećanih brzina i erozije korita uz obalu.

Za sve analizirane varijante pri protocima Q_{SV} i Q_{NPV} dolazi do erozije korita Drave po cijelom profilu na dionici od rkm 1+000 do rkm 0+600 koje se nalazi uzvodno od promatrane dionice. Na ovom potezu izgrađena su pera u koja sužavaju protočni profil i na taj način povećavaju brzinu toka uz lijevu obalu gdje dolazi do erozije dna korita. Erodirani nanos iz ovog poteza taloži se neposredno nizvodno od pera kada se poveća protočni profil: od rkm 0+500 do rkm 0+200, s tim da se glavina nanosa taloži oko rkm 0+500. Jedino odstupanje od ovog trenda primijećeno je kod varijante *var2* i protoku Q_{NPV} pri čemu se erodirani nanos taloži neposredno nizvodno od rkm 0+600 do rkm 0+500. Izgradnjom obaloutvrde varijantom *var2* pri protoku Q_{NPV} inicirana je erozija korita Drave cijelom širinom na dionici rkm 0+400 do rkm 0+200. Erodirani nanos se taloži neposredno nizvodno od završetka obaloutvrde na od rkm 0+200 do rkm 0+000 također cijelom širinom korita. Za sve analizirane varijante na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira. Na spoju dvaju rijeka, u području smanjene brzine toka dolazi do sedimentacije te nastanka „sedla“ na kontaktnoj plohi rijeka, dok se nizvodno od ušća Drave korito Dunava vraća u ravnotežno stanje i na njemu nije uočen trend značajnijih promjena. Pri varijantama *var0*, *var1*, *var2* i *var3* i protocima Q_{SV} i Q_{NPV} na samoj lokaciji ušća korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira, a u gabaritu plovnog puta je izraženo taloženje. Pri varijantama *var4* i *var5* i protocima Q_{SV} i Q_{NPV} na samoj lokaciji ušća, od rkm 0+200 do rkm 0-500 korito Drave se djelomično zasipa a djelomično erodira - u gabaritu plovnog puta je izraženija erozija a uz desnu obalu sedimentacija. Erozija je prisutna u gabaritu plovnog puta neposredno uz rub Chevronskeg/deklinatornog pera, dok se taloženje odvija na njegovom uzvodnom pokosu i obali. Nakon ušća u Dunav matica toka Drave je odbačena uz desnu obalu uslijed čega dolazi do povećanih brzina i erozije korita uz obalu.

Analiza režima voda i nanosa za predložena varijantna rješenja pokazala je da se promjene unutar gabarita plovnog puta uočene za varijante „kontinuirano čišćenje“ i „obaloutvrda na desnoj obali“ ne razlikuju značajno u odnosu na pasivnu varijantu „ne činiti ništa“. Kod varijante „kontinuirano čišćenje“ dolazi do izraženijeg taloženja unutar gabarita

plovnog puta zbog produbljivanja iskopom. Varijanta „obaloutvrda na desnoj obali“ nema značajnijeg utjecaja na režim voda i nanosa zbog svoje pozicije na desnoj obali gdje je tok Drave stabilan i ujednačen. Najveći utjecaj na plovni put imaju varijante „obaloutvrda na lijevoj obali“ i varijante „Chevrnsko pero“ i „deklinatorno pero“. Implementacijom varijante „obaloutvrda na lijevoj obali“ očekuje se povećanje brzine toka i erozije unutar gabarita plovnog puta na potezu od rkm 0+400 do rkm 0+000. Implementacijom varijanti „Chevrnsko pero“ ili „deklinatorno pero“ očekuje se povećanje brzine toka i erozije unutar gabarita plovnog puta na potezu od rkm 0+000 do rkm 0-400.

ZAKLJUČAK

Provedenom analizom pokazano je da trenutno održavanje gabarita plovnog puta varijantom „kontinuiranog čišćenja“ ima vrlo malen doprinos održavanju dubine plovnog puta te da ni u kombinaciji s postojećim regulacijskim građevinama ne zadovoljava tražene gabarite plovnog puta. Isto tako ovim pristupom nije moguće dugoročno osigurati uvjete sigurne plovidbe te on iziskuje učestale radove u samom koritu rijeke. Varijante izgradnje pojedinačnih regulacijskih građevina pokazuju lokalni doprinos održavanju tražene dubine plovnog gabarita, bez značajnijeg utjecaja na režim voda i nanosa na ušću. Evidentno je da se utjecaj na režim voda i nanosa na ušću Drave koji bi osigurao neometanu plovidbu u uvjetima malih voda ne može postići jednom građevinom, već je potrebno kombinirati utjecaj obaloutvrde na lijevoj obali za stabilizaciju poteza uzvodno od rkm 0+000 i pera nizvodno od rkm 0+000. Ukoliko se usvoji varijanta „ne činiti ništa“ ili „kontinuirano čišćenje“ potrebno je kontinuirano praćenje kretanja koritiformirajućeg nanosa na ušću u cilju produbljivanja razumijevanja utjecaja režima voda na morfološke promjene u postojećem stanju. Praćenje kretanja nanosa mora obuhvaćati mjerenje pronosa nanosa, njegovog sastava i trenutni profil brzine toka u vrijeme mjerenja nanosa te pokrivati cijeli raspon hidroloških događaja na ušću. Podatke je potrebno obraditi na način da se snimljenom trenutnom polju brzine pridruži izračunati pronos nanosa na temelju diskretnih mjerenja koncentracije u karakterističnim točkama profila.

LITERATURA

- [1] Bognar, A., (2008): *Geomorfološka obilježja korita rijeke Drave i njenog poloja u širem području naselja Križnica*, Hrvatski geografski glasnik, 70 (2), 49-71
- [2] Gilja, G., Bekić, D. & Oskoruš, D., (2009): *Processing of Suspended Sediment Concentration Measurements on Drava River*, 11th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering 181-191
- [3] Hidroing d.o.o. & Građevinski fakultet Zagreb, (2015): *Koncepcijsko rješenje poboljšanja uvjeta plovnosti rijeke Drave od ušća (rkm 0) do luke Osijek (rkm 12)*, Vukovar, Croatia
- [4] Hidroing d.o.o. & Građevinski fakultet Zagreb, (2016): *Elaborat praćenja morfoloških promjena i tehničkog rješenja osiguranja plovnosti na ušću rijeke Drave u rijeku Dunav*, Vukovar, Croatia
- [5] ICPDR, (2005): *The Danube River Basin District - Part A: Basin-wide overview*, Vienna, Austria

- [6] Kálmán, T., (1952): *A Duna és szabályozása (The Danube and its regulation)*, Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary, 454
- [7] Kuspilić, N. & Gilja, G., (2015): *Utjecaj regulacijske pregrade na talozenje suspendiranog nanosa*, 6. hrvatska konferencija o vodama - Hrvatske vode na investicijskom valu (D. Biondić, D. Holjević & M. Vizner), Hrvatske vode, 839-848
- [8] Liska, I., (2008): *Management of sediment quality and quantity in the Danube River Basin*, 5th International SedNet conference: Urban Sediment Management and Port Redevelopment & Sediment in River Basin Management Plans
- [9] Vodoprivreda Osijek, (1986): *Vodoprivredna osnova za vodno područje Drave i Dunava u SR Hrvatskoj: katastar vodograđevina na r. Dunav (km 1433 do 1295)*, Osijek, Croatia
- [10] Vujasinović, B., (2008): *Radovi na uređenju rijeke Drave do kraja 19. stoljeća*, Hrvatske vode, 64 238

AUTORI

doc. dr. sc. Gordon Gilja, dipl. ing. građ. ^a

Dora Jelić, mag. ing. aedif. ^b

prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ. ^c

^a Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, ggilja@grad.hr

^b Institut IGH, Zavod za hidrotehniku, geotehniku i zaštitu okoliša, Janka Rakuše 1, Zagreb, 10000, Hrvatska, dora.jelic@igh.hr

^c Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Fra Andrije Kačića-Miošića 26, Zagreb, 10000, Hrvatska, kuspaa@grad.hr